

Б. А. ВОРОНЦОВ-ВЕЛЬЯМИНОВ

СБОРНИК ЗАДАЧ И ПРАКТИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ ПО АСТРОНОМИИ

ИЗДАНИЕ 7-е, СТЕРЕОТИПНОЕ

*Допущено Министерством
высшего и среднего специального образования СССР
в качестве учебного пособия для студентов
астрономических и физических специальностей
высших учебных заведений*



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1977

© Издательство «Наука», 1974.

Воронцов-Вельяминов Борис Александрович
СБОРНИК ЗАДАЧ И ПРАКТИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ
ПО АСТРОНОМИИ

М., 1977 г., 272 стр. с илл.

Редактор Г. С. Куликов

Техн. редактор Е. Н. Земская

Корректор Т. С. Вайсберг

Печать с матриц. Подписано к печати 21/IV 1977 г. Бумага $84 \times 108^{1/32}$.
Физ.-печ. л. 8,5 + вкл. 0,375 п. л. Условн. печ. л. 14,91. Уч-изд. л. 15,53.
Тираж 20 000 экз. Цена книги 82 коп. Заказ № 2175

Издательство «Наука»

Главная редакция физико-математической литературы
117071, Москва, В-71, Ленинский проспект, 15

2-я типография издательства «Наука»
Москва, Шубинский пер., 10

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие к шестому изданию	5
Введение	7
I. Интерполирование (задачи 1—10)	10
II. Небесная сфера (задачи 11—33)	15
III. Системы небесных координат (задачи 34—100)	19
IV. Кульминация светил. Определение географической широты и координат небесных светил (задачи 101—169)	32
V. Рефракция (задачи 170—188)	40
VI. Видимое движение Солнца (задачи 189—217)	43
VII. Определение времени и долготы (задачи 218—302)	46
VIII. Календарь (задачи 303—324)	60
IX. Восход и заход светил (задачи 325—363)	62
X. Прецессия (задачи 364—380)	68
XI. Задачи, решаемые с помощью небесного глобуса (I—XIV)	71
XII. Движение планет (задачи 381—466)	76
XIII. Параллакс и абerrация (задачи 467—506)	93
XIV. Земля (задачи 507—574)	100
XV. Движение и фазы Луны (задачи 575—619)	111
XVI. Затмения (задачи 620—654)	116
XVII. Тяготение (задачи 655—733)	122
XVIII. Астрономические приборы и методы (задачи 734—805)	132
XIX. Луна (задачи 806—826)	143
XX. Планеты (задачи 827—874)	146
XXI. Кометы (задачи 875—910)	151
XXII. Метеоры и метеориты (задачи 911—944)	157
XXIII. Солнце (задачи 945—991)	164

XXIV. Движения и природа звезд (задачи 992—1084)	171
XXV. Двойные звезды (задачи 1085—1123)	187
XXVI. Переменные звезды и новые звезды (задачи 1124—1154)	197
XXVII. Строение Вселенной (задачи 1155—1176)	204
XXVIII. Смешанный раздел (задачи 1177—1200)	210
XXIX. Задачи по космонавтике (задачи 1201—1229) . . .	214
Ответы и решения	221
Приложения	256

ПРЕДИСЛОВИЕ К ШЕСТОМУ ИЗДАНИЮ

Предыдущие издания настоящего сборника задач и практических упражнений по общей астрономии были, в сущности, первыми учебными пособиями такого рода в мировой литературе. Через тридцать лет после выхода в свет сборник был издан в 1969 г. в Оксфорде в переводе на английский язык, и зарубежные его рецензенты отмечали, что по изданию учебников и пособий Советский Союз стоит впереди стран Запада.

Наш сборник предназначен для развития активности учащихся и более глубокого усвоения курса общей астрономии, т. е. элементарных основ астрономии. Он рассчитан на курсы общей астрономии, читаемые на физико-математических и географических факультетах педвузов и университетов. В некоторой мере этот задачник может быть использован в гидро-метеорологических, мореходных и подобных им вузах и техникумах, а также любителями астрономии для самообразования.

Во всех главах выделен круг задач, которые прямо соответствуют школьному курсу астрономии. Это задачи I концентри, тогда как задачи II концентри ближе к программам и возможностям вузов. Прошлые издания нашего сборника, дающие к тому же материал для проведения и практических измерений, доступный ранее лишь в немногих обсерваториях, широко использовались учителями школ как для классной, так и для кружковой работы по астрономии и космонавтике. Мы обращаем особое внимание учителей на знакомство учащихся (по материалам в приложении) с распространенными методами астрофизических измерений, имеющими широкое применение в астрофизической практике.

За 11 лет, прошедших со времени предыдущего издания сборника, появились небольшие задачки и практикумы, расширившие круг предложенных нами практических заданий. К сожалению, в них часто встречаются задачи, сформулированные нечетко, расплывчато или двусмысленно, не позволяющие учащимся дать точный ответ. В предыдущих изданиях указывалось, какие источники нами использовались. Здесь мы прибавили еще «Задачи для юного космонавта» А. В. Ротаря (изд-во «Просвещение», Москва, 1965). Задачи, принадлежащие автору сборника, мы отметили буквами ВВ в скобках. Их около 300. Источники других, по-видимому, оригинальных задач, мы также отмечаем в скобках.

Перед каждой главой сборника дается краткая теория и приводятся соответствующие формулы. Такие введения, отмеченные цифрами I и II, соответствуют задачам первого или второго концентрa. Иногда представлен только один из них, когда глава содержит только легкие задачи (в пределах школьного курса), либо, наоборот, задачи, требующие непременно бóльших знаний.

К настоящему изданию весь текст был пересмотрен с учетом современных достижений науки. Задачи по космонавтике имелись в большом числе и в предыдущем издании. Здесь мы их дополняем главой XXIX.

Для того чтобы наряду с шестым изданием сборника можно было бы пользоваться и предыдущими (что на практике часто бывает необходимо), номера задач оставлены прежними, а новые задачи вынесены в последнюю главу. Большую работу по проверке задач и ответов к ним в предыдущих изданиях проделали проф. П. П. Паренаго и М. А. Борчев.

ВВЕДЕНИЕ

(Как решать астрономические задачи)

Задачи, помещенные в разделах сборника под заголовком «Первый концентр», требуют знаний в объеме программы средней школы. Под заголовком «Второй концентр» помещены более трудные задачи; однако сведения из математики и физики, необходимые для их решения, редко выходят за пределы элементарной тригонометрии и физики.

Материал сборника по характеру своему делится на задачи «на сообразительность» в области астрономии, на упражнения и задачи, иллюстрирующие основные астрономические методы или результаты, и на упражнения по вычислению величин, играющие в астрономической практике большую роль.

При решении многих задач первого рода очень удобно пользоваться небесным глобусом (раздел XI), заменяя его в случае необходимости чертежом. Чертеж, сделанный хотя бы от руки, значительно облегчает пространственные представления. В упражнениях второго рода надо стремиться к тому, чтобы нужные измерения (фотографии или чертежа) производились как можно тщательнее и точнее. Чем ближе будут полученные результаты к общепринятым табличным данным, тем лучше освоена решающим задачи методика астрономических исследований, основанных на точности измерений. Большинство числовых задач может быть решено с точностью до трех значащих цифр, и потому весьма рекомендуется вычисление с помощью логарифмической линейки. Пользование линейкой или таблицами логарифмов необходимо при решении очень многих задач. Задачи на вычисление различных величин по более сложным формулам требуют строгой последовательности вычислений. Они приучают к аккуратности при расчетах

вообще. Наилучшей практикой в этом отношении является решение задач на преобразование координат и на вычисление эфемерид. В таких случаях, изучив нужные формулы и последовательность их применения, следует прежде всего составить схему для вычислений. Это значит, что нужно заранее выписать колонкой обозначения величин, подлежащих нахождению по таблицам или получаемых в процессе вычисления. Эти обозначения величин надо располагать друг под другом в порядке последовательности вычислений и затем в готовую схему вписывать числовые значения этих величин. Цифру надо писать под цифрой, тогда их легко складывать или вычитать. Подобные аккуратно проводимые вычисления легко потом проверить или разыскать в них ошибку, что начинающим приходится делать нередко. Пример составления схемы и ее заполнения дан на стр. 25.

При любых вычислениях желательно соблюдать правила действий с приближенными количествами и не делать вычислений с большей точностью, чем точность данных задачи; например, если в условии даны числа с тремя значащими цифрами, нет никакого смысла вести вычисления с пятизначными логарифмами. Следует также иметь в виду, что углам, даваемым с точностью до $0^\circ,1$, обычно соответствуют трехзначные логарифмы, углам с точностью до $0',1$ обычно соответствуют четырехзначные логарифмы, углам с точностью до $1''$ обычно соответствуют пятизначные логарифмы.

При вычислениях справа внизу у логарифма пишется значок n (*negativus*), если соответствующее ему число отрицательно. Логарифм произведения (или частного) представляет сумму (или разность) логарифмов, и потому, если число складываемых (или вычитаемых) друг с другом логарифмов, отмеченных буквой n , нечетное, то значок n приписывается и к сумме (или к разности) логарифмов, так как при этом произведение (или частное) получается отрицательным. Если число складываемых или вычитаемых логарифмов со знаком n четное, то у логарифма суммы или разности значок n не нужен — результат положителен. Следует стремиться вычитание логарифма всегда заменять сложением. При этом ошибки получаются реже.

Вычесть $\lg a$ все равно, что прибавить $\lg \frac{1}{a}$ или прибавить дополнение $\lg a$ до нуля (сокращенно $\partial \text{он } \lg a$ или $\partial \lg a$). Например, $\lg (5 : 0,3) = \lg 5 - \lg 0,3 = 0,699 - (9,477 -$

— 10), или иначе $\lg(5 : 0,3) = 0,699 + 0,523$. Число 0,523 и есть дополнение логарифма 9,477—10. Дополнением логарифма 7,315—10 будет 2,685, и наоборот.

В некоторых задачах нужные числовые данные не приведены, и учащийся сам должен найти их в таблицах, помещенных в приложении. Большинство типовых задач снабжено подробными решениями.

Не следует смущаться тем, что иногда в различных задачах приведены несколько различные числовые данные для одной и той же величины. Это происходит по трем причинам. Иногда смысл задачи заключается не в точности вычислений, а в том, как к ним подойти, — тогда даются округленные данные, чтобы сократить самые вычисления. В других случаях различие данных происходит оттого, что под одним и тем же названием подразумеваются слегка различные величины. Например, под словом «год» можно подразумевать простой календарный год в 365 суток, или високосный год в 366 суток, или среднюю длину календарного года — 365,25 суток, или продолжительность тропического года 365,24220... суток, которая к тому же с течением времени очень медленно и мало, но все же меняется. Наконец, астрономия — это непрерывно совершенствующаяся наука. Числовые значения изучаемых ею величин постоянно определяются заново все более и более точно. Кроме того, бывает, что разные ученые получают немного различные результаты, и было в праве составителя задачи оказать больше доверия тем или другим числовым данным.

В задачах второго концентрa каждого раздела применение дифференциального исчисления требуется лишь в исключительных случаях и ограничивается нахождением обычной или логарифмической производной.

Для решения некоторых задач требуется иметь «Астрономический календарь» на данный год. Полезно иметь для справок и так называемую «Постоянную часть» этого календаря, содержащую числовые данные, не меняющиеся от года к году.

I. ИНТЕРПОЛИРОВАНИЕ

II

При пользовании различными таблицами необходимо уметь находить значение переменной величины (функции) в зависимости от значения аргумента.

Если существуют две величины, связанные друг с другом математической зависимостью, например $y = 2x$, то, в зависимости от изменения одной величины, например x , будет меняться и другая (y). Величина, меняемая по нашему произволу, называется *аргументом*, а величина, зависящая от этого аргумента, называется *функцией*. В приведенном примере x есть аргумент, а y — функция. Значению аргумента $x = 1$ соответствует значение функции $y = 2$, значению $x = 3$ соответствует значение $y = 6$ и т. д.

В таблицах какой-либо функции даются ее значения, вычисленные для ряда значений аргумента, обычно отстоящих друг от друга на равные интервалы. Для нашей функции мы могли бы вычислить, например, значения y , соответствующие ряду значений x , из которых каждое больше предыдущего на 5 единиц, и составить таблицу:

x	y	a
$x_1 = 0$	$y_1 = 0$	$a_2 = 10$
$x_2 = 5$	$y_2 = 10$	$a_3 = 10$
$x_3 = 10$	$y_3 = 20$	$a_4 = 10$ и т. д.
$x_4 = 15$	$y_4 = 30$	

Очень часто, даже почти всегда, бывает нужно найти значение функции, соответствующее промежуточному значению аргумента, не содержащемуся в таблице. Например, в нашем случае для $x = 7$ или 8. Решение этой задачи на-

зывается *интерполированием*, или интерполяцией. Его, например, постоянно приходится применять при нахождении по таблицам логарифма данного числа или числа по его логарифму. В астрономии интерполирование данных по календарю бывает нужно постоянно.

Если изменения функции прямо пропорциональны изменению аргумента, как в нашем примере, то задача решается очень просто. Чтобы убедиться в том, что функция меняется пропорционально аргументу, надо выписать в соседнем столбике разности двух последовательных значений функции. Эти первые разности мы обозначим через a . Они должны быть постоянны (все одинаковы). В нашем примере они равны 10. Нахождение промежуточных значений функции y сводится тогда к решению простого уравнения

$$y = y_3 + a_4 \frac{x - x_3}{x_4 - x_3},$$

если предположить, что мы, например, ищем y , соответствующее x , содержащемуся между x_3 и x_4 . Например, для y , соответствующего $x = 12$, имеем:

$$y = 20 + 10 \cdot \frac{12 - 10}{15 - 10} = 20 + 10 \cdot \frac{2}{5} = 24.$$

Иными словами, значение функции равно табличному ее значению, соответствующему ближайшему меньшему значению аргумента плюс первая разность (между данным значением функции и последующим), умноженная на отношение приращения аргумента к табличной разности соседних аргументов.

Если первые разности a неодинаковы, то, вычитая из каждой из них предыдущую, мы получим вторые разности b (табл. 1). Если и они не постоянны, то мы можем, подобно этому, вычислить третьи разности c , затем четвертые разности d и т. д., пока не дойдем до таких разностей, которые окажутся постоянными или очень малыми.

В таблице 2, данной для примера, даже шестые разности непостоянны; однако уже четвертые разности мало меняются, и потому при интерполировании можно пренеб-

Таблица 1

x	y	a	b	c	d
x_1	y_1				
		a_1			
x_2	y_2		b_1		
		a_2		c_1	
x_3	y_3		b_2		d_1
		a_3		c_2	
x_4	y_4		b_3		
		a_4		c_3	
x_5	y_5		b_4		
		a_5		c_4	

Таблица 2

x	y		a	b	c	d	e	f
1,0	+19°19',6 или +1159',6		—197',4					
2,0	16	2,2	—248,8	—51',4	—17',9			
3,0	11	53,4	—282,3	—33,5	—17,6	+0',3	+1',2	—0',3
4,0	7	11,1	—298,2	—15,9	—16,1	+1,5	+0,9	—1,3
5,0	+ 2	12,9	—298,0	+ 0,2	—13,7	+2,4	—0,4	
6,0	— 2	45,1	—284,1	+13,9	—11,7	+2,0		
7,0	7	29,2	—258,5	+25,6				
8,0	—11	47,7	—707,7					

речь разностями, начиная с пятой, т. е. не принимать их во внимание.

Пусть надо вычислить значение y для значения $x = x_1 + \theta h$, где x_1 есть ближайшее меньшее табличное значение аргумента, h — табличная разность соседних аргументов и θ — правильная дробь. Тогда теория интерполирования приводит к формуле

$$y = y_1 + \theta \left\{ a_2 + \frac{\theta - 1}{2} \left[b_3 + \frac{\theta - 2}{3} \left(c_4 + \frac{\theta - 3}{4} d_5 \right) \right] \right\},$$

где y_1 — значение y , соответствующее $x = x_1$. Разностями выше четвертой приходится пользоваться крайне редко и этой формулы достаточно. Если при вычислении можно ограничиться вторыми или третьими разностями, то остальные принимают равными нулю. Например, при интерполировании с третьими разностями:

$$y = y_1 + \theta \left\{ a_2 + \frac{\theta - 1}{2} \left[b_3 + \frac{\theta - 2}{3} c_4 \right] \right\},$$

при интерполировании со вторыми разностями:

$$y = y_1 + \theta \left[a_2 + \frac{\theta - 1}{2} b_3 \right].$$

Вычислим, например, по таблице 2 значение y , соответствующее $x = 1,2$. В нашем случае $h = 1,0$, $\theta = 0,2$, $y_1 = 1159',6$. Интерполируя с четвертыми разностями, получаем

$$y = 1159,6 + 0,2 \left\{ -197,4 + \frac{0,2 - 1}{2} \left[-51,4 + \frac{0,2 - 2}{3} \left(-17,9 + \frac{0,2 - 3}{4} 0,3 \right) \right] \right\},$$

или

$$\begin{aligned}
 y &= 1159,6 + \\
 &+ 0,2 \{-197,4 - 0,4 [-51,4 - 0,6 (-17,9 - 0,7 \cdot 0,3)]\} = \\
 &= 1159,6 + 0,2 \{-197,4 - 0,4 [-51,4 - 0,6 (-18,1)]\} = \\
 &= 1159,6 + 0,2 \{-197,4 - 0,4 [-40,54]\} = \\
 &= 1159,6 + 0,2 \{-181,2\} = 1123,4;
 \end{aligned}$$

$$y = 1123',4.$$

Если бы мы выполнили это вычисление, учитывая только вторые разности, которые еще сильно меняются, то получили бы

$$y = 1159,6 + 0,2 \left[-197,4 + \frac{0,2-1}{2} (-51,4) \right] = 1124',2.$$

Эта величина менее точна, но отличается от результата нашего точного вычисления всего лишь на $0',8$. Из этого примера видно, что чем выше порядок разности, тем меньше ее влияние на результат, и в каждом данном случае нетрудно решить, какими разностями достаточно пользоваться при интерполировании.

Бывает, что функция одновременно зависит от двух аргументов. Например, в таблице 3 функция z дана в зависимости от переменных x и y .

Пусть надо вычислить z , соответствующее $x = 1 \frac{1}{3}$ и $y = 37$. Находим сперва значение z для $x = 1 \frac{1}{3}$ ($\theta = \frac{1}{3}$) для каждого столбца:

Таблица 3

$y \backslash x$	36	40	44
1	210	199	187
2	405	384	360
3	573	543	510
4	701	664	624

$y = 36$				
x	y	a	b	c
1	210			
2	405	+195		
3	573	+168	-27	
4	701	+128	-40	-13

$y = 40$				
x	y	a	b	c
1	199			
2	384	+185		
3	543	+159	-26	
4	664	+121	-38	-12

$$y = 44$$

x	y	a	b	c
1	187			
2	360	+173	-23	
3	510	+150	-36	-13
4	624	+114		

Отсюда находим значения z для $x = 1 \frac{1}{3}$:

y	z	a	b
36	277		
40	263	-14	
44	246	-17	-3

Применяя к этой таблице наше правило еще раз ($\theta = \frac{1}{4}$), находим

$$z = 277 - \frac{1}{4} 14 + \frac{3}{32} 3 = 274.$$

Бывает, что надо найти значение функции для аргумента, выходящего за пределы ряда аргументов, данного в таблице. Решение этой задачи называется *экстраполированием*. В случае, когда функция меняется пропорционально аргументу, формула экстраполирования такова:

$$y = y_1 - a_2 \frac{x_1 - x}{x_2 - x_1},$$

если, например, ищется y при x меньшем, чем первое из x , содержащихся в таблице (экстраполирование назад). Найдем в самом первом из рассмотренных нами примеров y для $x = -5$,

$$y = 0 - 10 \frac{0 - (-5)}{5 - 0} = -10.$$

Формула экстраполирования вперед имеет вид

$$y = y_4 + a_4 \frac{x - x_4}{x_4 - x_3}.$$

Найдем по этой формуле y для $x = 27$,

$$y = 30 + 10 \frac{27 - 15}{15 - 10} = 30 + 24 = 54.$$

В астрономических календарях для облегчения интерполирования часто приводится часовое изменение функции, т. е. изменение функции за час времени.

Нижеследующие примеры дают практику в интерполировании; при этом несущественно, что какие-либо назва-

ния, встречающиеся в условии задачи или в таблице II *), еще непонятны учащемуся.

Решение многих задач последующих отделов требует умения интерполировать и экстраполировать.

ВТОРОЙ КОНЦЕНТР

1. Найти уравнение времени для 6^ч гринвичского времени 20 июня по таблице II с помощью интерполирования.

2. Определить по таблице II склонение Солнца для 18^ч гринвичского времени 29 июня **).

3. Найти путем интерполирования прямое восхождение Солнца в 18^ч гринвичского времени 6 июля по таблице II.

4. Проинтерполировать прямое восхождение Солнца для момента $t = 1^{\text{ч}}32^{\text{м}}44^{\text{с}},3$ гринвичского времени 13 июля. Данные взять из таблицы II.

5. Проинтерполировать склонение Солнца для момента $t = 17^{\text{ч}}12^{\text{м}}30^{\text{с}},4$ гринвичского времени 10 июля по таблице II.

6. Найти уравнение времени для $t = 4^{\text{ч}}50^{\text{м}}19^{\text{с}},1$ гринвичского времени 2 июля по таблице II.

7. По таблице IX определить величину годовой прецессии по прямому восхождению для $\alpha = 1^{\text{ч}},8$, $\delta = +63^{\circ}$.

8. Найти годовую прецессию для $\alpha = 5^{\text{ч}},2$, $\delta = +45^{\circ},9$.

9. Определить годовую прецессию по таблице IX для $\alpha = 17^{\text{ч}},9$, $\delta = +56^{\circ},9$.

10. Определить годовую прецессию по таблице IX для $\alpha = 19^{\text{ч}},8$, $\delta = -37^{\circ},9$.

II. НЕБЕСНАЯ СФЕРА

I

Небесной сферой называется воображаемая сфера произвольного радиуса, описанная из глаза наблюдателя, как из центра. На эту сферу мы проектируем положения всех небесных светил. Расстояния на небесной сфере можно измерять только в угловых единицах, например, в

*) Таблица II, как и все таблицы под римскими номерами, приведена в конце книги (в приложении).

**) При решении задач 2 и 5 часовым изменением δ не пользоваться.

градусах. Надо помнить, что видимый угловой диаметр Луны и Солнца приблизительно равен $1/2^\circ$. Известно, что длина дуги в 1° равняется приблизительно $\frac{1}{57}$ радиуса окружности. Следовательно, расстояния до Луны и Солнца примерно в 114 раз превосходят их линейный диаметр. Длина дуги в $1''$ или $\sin 1''$ равны $1 : 206\,265$ радиуса.

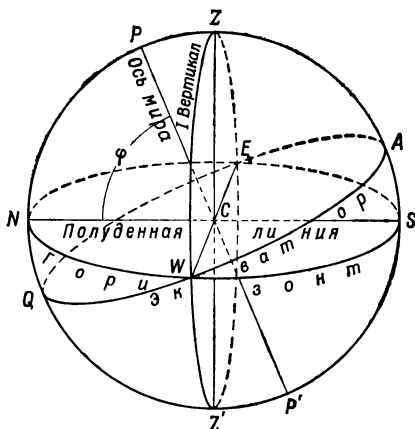


Рис. 1. Основные линии и точки небесной сферы.

Отвесная линия, проходящая через центр небесной сферы (рис. 1), пересекает ее в точках *зенита* (Z) и *надира* (Z'). Зенит находится над головой наблюдателя. Горизонтальная плоскость, проходящая через центр сферы, пересекается с ней по большому кругу — по *линии математического горизонта*.

Суточное вращение небесной сферы (кажущееся, вызванное вращением Земли) происходит вокруг оси мира, проходящей через центр сферы и пересекающей ее в точках, называемых северным (P) и южным (P') *полюсами мира*. Перпендикулярная к оси мира плоскость, проходящая через центр сферы, пересекается с ней по линии *небесного экватора*. Плоскость, проходящая через отвесную линию и ось мира, называется *плоскостью меридиана* и пересекает сферу по линии *небесного меридиана*. Пересечение горизонта с меридианом происходит в точках юга (S) и севера (N), а плоскости этих кругов пересекаются по *полуденной линии*. Точка севера N лежит на горизонте прямо под северным полюсом мира P . Экватор пе-

ресекается с горизонтом в точках востока (E) и запада (W), а с меридианом в двух точках, из которых та, которая находится над горизонтом, называется точкой экватора (A).

Вертикальная плоскость, перпендикулярная к плоскости меридиана и горизонта, пересекает сферу по линии *первого вертикала*, который пересекается с горизонтом в точках E и W .

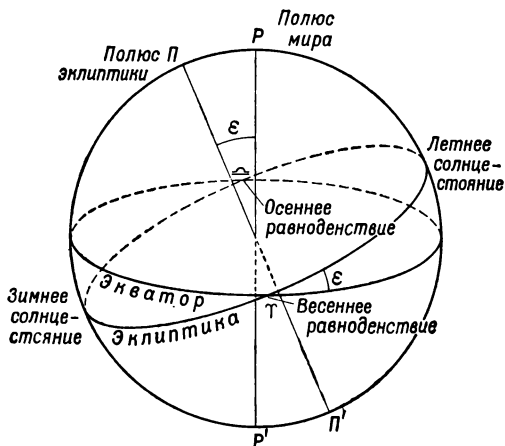


Рис. 2. Экватор и эклиптика.

Угол наклона оси мира к горизонту (или, что то же, угловое расстояние полюса от горизонта) равен географической широте (φ) места наблюдения.

Небесные светила поднимаются над горизонтом в восточной части горизонта и опускаются к нему в западной части горизонта. Полярная звезда (α Малой Медведицы) находится на расстоянии всего лишь $58'$ от северного полюса мира. Одни звезды на время скрываются под горизонт, отделяющий видимое полушарие неба от невидимого, другие — все время находятся над горизонтом. Экватор же делит небо на северное полушарие и южное. Каждая звезда пересекает южную и северную часть меридиана каждый день на 4 минуты (точнее на 3^m56^s) раньше, чем накануне, если считать по обычному (солнечному) времени. То же касается моментов восхода и захода звезд, скрывающихся под горизонтом. Суточный путь светил над горизонтом параллелен экватору.

Большой круг небесной сферы, по которому в течение года кажущимся образом перемещается центр Солнца (вследствие годичного обращения Земли вокруг Солнца), называется *эклиптикой*. Эклиптика пересекается с экватором (рис. 2) под углом $\epsilon = 23^{\circ}27'$. При вращении небесной сферы положение эклиптики относительно горизонта меняется, в противоположность всем остальным перечисленным линиям небесной сферы. Эклиптика пересекается с экватором в определенных точках: в точке весеннего и в точке осеннего равноденствия. Первая из них (обозначаемая Υ) находится в созвездии Рыб, вторая (обозначаемая $\cap$) — в созвездии Девы.

ПЕРВЫЙ КОНЦЕНТР

11. На каком расстоянии от глаза надо поместить гривенник (диаметр 1,7 см), чтобы он как раз закрыл собой Луну или Солнце? (ВВ)

12. Нормальный диаметр сферического аэростата равен 13 м. На каком расстоянии он находится, если его угловой диаметр вдвое меньше лунного?

13. При наблюдении звезды замечают, что она поднимается все выше и выше. В какую сторону небосвода смотрит наблюдатель?

14. В каких частях небосвода высота светил непрерывно увеличивается и в каких уменьшается?

15. Охотник осенью идет под утро в лес по направлению Полярной звезды. После восхода Солнца он возвращается обратно. Как он должен идти обратно, руководясь положением Солнца?

16. Есть ли разница между северным полюсом мира и точкой севера?

17. Есть ли на Земле такое место, где человек с завязанными глазами, двинувшись, непременно пойдет на север?

18. Когда (приблизительно) восходит звезда, которая месяц назад восходила в 10 часов вечера?

19. Изобразить на чертеже небесную сферу:

1) в проекции на плоскость горизонта,

2) в проекции на плоскость экватора,

3) в проекции на плоскость меридиана,

4) в проекции на плоскость первого вертикала. (ВВ)

20. Доказать, что экватор пересекается с горизонтом в точках, отстоящих на 90° от точек севера и юга, т. е. в точках востока и запада.

21. Доказать, что горизонт, экватор и первый вертикал пересекаются в одних и тех же двух точках.

22. Широта Москвы $\varphi = 55^{\circ}45'$. Определить угловое расстояние от точки зенита в Москве до полюса мира.

23. Наиболее южные области Советского Союза простираются до широты 35° . Какой угол образует там плоскость экватора с горизонтом?

24. Под каким углом небесный экватор пересекает горизонт (в точках востока и запада) для наблюдателя, находящегося на широте 40° ? Каковы эти углы, если широта наблюдателя будет 10° ? 20° ? 50° ? 70° ? — 40° ?

25. В каких двух случаях высота светил над горизонтом в течение суток не меняется?

26. Какие важные круги небесной сферы не имеют соответствующих кругов на Земле?

27. Как располагается эклиптика по отношению к горизонту на Северном полюсе?

28. Каковы наибольший и наименьший углы, образуемые эклипстикой с горизонтом в Москве ($\varphi = 55^{\circ}45'$)?

29. При каких условиях полюс эклиптики совпадает с зенитом наблюдателя?

30. В каком месте Земли эклиптика может совпасть с горизонтом и когда это бывает?

31. Какой угол образует эклиптика с горизонтом в момент захода точки весеннего равноденствия для наблюдателя, расположенного на 18° географической широты?

32. Какой угол с горизонтом образует эклиптика в момент восхода точки весеннего равноденствия для широты $+55^{\circ}$? В момент захода этой точки? То же для широты $+66\frac{1}{2}^{\circ}$?

33. Определить линейное расстояние между двумя звездами, находящимися от нас на расстояниях r_1 и r_2 и видимых на небе на угловом расстоянии θ .

III. СИСТЕМЫ НЕБЕСНЫХ КООРДИНАТ

I

Положения точек, в частности светил, на небесной сфере определяются сферическими координатами. Наиболее употребительными являются четыре системы координат. В каждой из них положение точки определяется двумя

координатами, одна из которых дает угловое расстояние этой точки от плоскости некоторого основного круга (аналогично географической широте), а другая отсчитывается вдоль этого основного круга от определенной его точки (аналогично географической долготе).

Горизонтальные координаты (h и A) (рис. 3). *Высота* h отсчитывается от горизонта до данной точки по большому

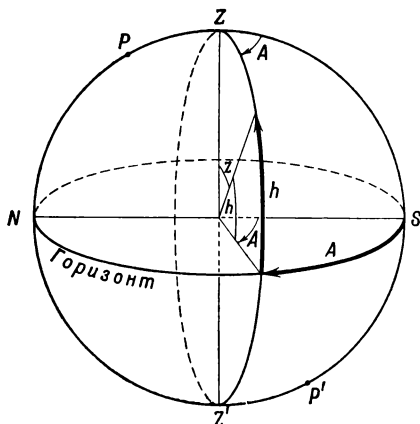


Рис. 3. Горизонтальная система координат (h и A).

полукругу, проведенному через точку из зенита (по кругу высоты). Азимут A отсчитывается от точки юга S по часовой стрелке вдоль горизонта до его пересечения с кругом высоты, проходящим через данную точку. Вместо высоты h часто употребляют *зенитное расстояние* z , равное $90^\circ - h$, т. е. угловое расстояние точки от зенита. h (или z) и A зависят от широты места и от момента наблюдения. (В геодезии азимут отсчитывается от точки севера N .)

Экваториальные координаты. Первая система (δ и α) (рис. 4). *Склонение* δ отсчитывается от экватора до данной точки по большому полукругу, проведенному через нее из полюса мира (по кругу склонения). В северном полушарии неба склонение положительно, в южном — отрицательно. α — *прямое восхождение* — отсчитывается от точки весеннего равноденствия Υ в северном полушарии против часовой стрелки вдоль экватора до его пересечения с кругом склонения, проходящим через данную точку. Оно выражается обычно в часовой мере, исходя

из того, что $24^h = 360^\circ$; $1^h = 15^\circ$; $1^m = 15'$; $1^s = 15''$; $1^\circ = 4^m$. Для перевода дуги в эти единицы и обратно в конце книги приложены таблицы IV и V. В экваториальной

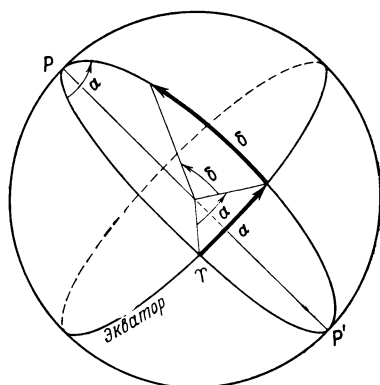


Рис. 4. Экваториальная система (δ и α).

системе координат (δ и α) положение светила не зависит ни от суточного вращения небесной сферы, ни от места наблюдения.

Экваториальные координаты. Вторая система (δ и t) (рис. 5). δ — та же координата, что выше. t —

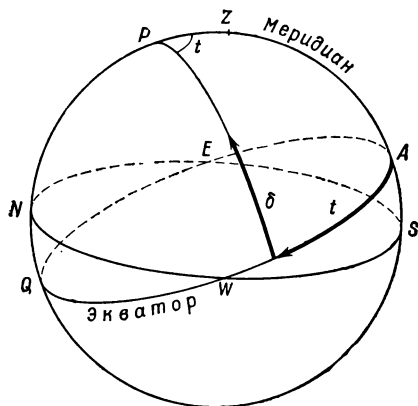


Рис. 5. Экваториальная система координат (δ и t).

часовой угол, отсчитываемый от точки пересечения экватора с меридианом A по часовой стрелке (к западу) до пересечения

чения экватора с кругом склонения, проходящим через данную точку. t выражается (подобно α) в часовой мере. t зависит от времени наблюдения.

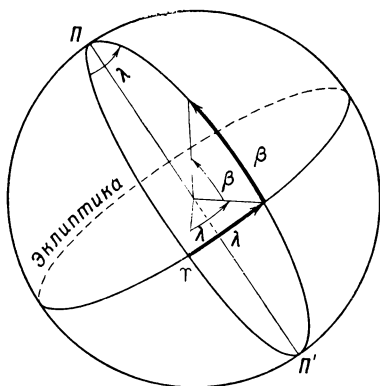


Рис. 6. Эклиптическая система координат (β и λ).

Эклиптические координаты (β и λ) (рис. 6). *Астрономическая широта* β отсчитывается от эклиптики до данной точки по большому полуокружности, проведенному через данную точку из полюса эклиптики Π (круг широты). К северу от эклиптики β положительна, к югу отрицательна. *Астрономическая долгота* λ отсчитывается от точки весеннего равноденствия γ против часовой стрелки вдоль

эклиптики до ее пересечения с кругом широты, проведенным через данную точку. λ и β , подобно α и δ , не зависят ни от времени, ни от места наблюдения.

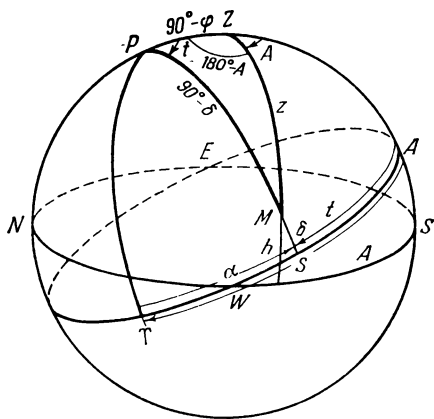


Рис. 7. Сопоставление обеих экваториальных и горизонтальной системы координат.

Три первые системы координат сопоставлены одновременно на рисунке 7.

На звездных картах и глобусах всегда изображается сетка экваториальных координат α и δ и проводится линия эклиптики. В справочниках, содержащих координаты небесных светил, даются именно их α и δ .

Звездное время s определяется часовым углом точки весеннего равноденствия. В момент звездного времени s часовой угол t любого светила, имеющего прямое восхождение α , определяется формулой

$$t = s - \alpha,$$

откуда получаем

$$s = t + \alpha,$$

т. е. звездное время в данный момент численно равно часовому углу любого светила плюс его прямое восхождение.

Явление прохождения светила через меридиан (при суточном вращении небесной сферы) называется *кульминацией*. В верхней кульминации для светила $t = 0^{\text{ч}}$, в нижней $t = 12^{\text{ч}}$. В верхней кульминации

$$s = \alpha,$$

т. е. в момент верхней кульминации светила звездное время численно равно его прямому восхождению.

Приблизительно звездное время в полдень 22 марта равно $0^{\text{ч}}$. В полдень любого дня года звездное время равно $4^{\text{м}}$ (точнее $3^{\text{м}} 56^{\text{с}}$), помноженным на число дней, протекших с 22 марта до данного дня *). Например, звездное время в полдень 1 мая равно $(3^{\text{м}} 56^{\text{с}}) \times 40 = 2^{\text{ч}} 37^{\text{м}}$. Точное значение звездного времени в гринвичский полдень (или в полночь) дается на каждый день в астрономическом календаре для данного года.

Звездное время в любой час солнечного времени равно звездному времени в полдень этого дня плюс число часов, протекших от полудня до данного момента солнечного времени. При более точном расчете надо еще учесть, что звездное время течет быстрее солнечного, обгоняя его на $3^{\text{м}} 56^{\text{с}}$ за сутки (за 24 часа). Например, в 6 часов вечера 1 мая звездное время равно $2^{\text{ч}} 37^{\text{м}} + 6^{\text{ч}} + (3^{\text{м}} 56^{\text{с}}) \frac{6}{24} = 8^{\text{ч}} 37^{\text{м}} 59^{\text{с}}$.

*) Ввиду того, что некоторые педагоги при приближенном расчете предпочитают считать равным нулю звездное время в полдень 21, а не 22 марта или для упрощения принимают продолжительность каждого месяца равной 30 дням, приближенный ответ на простейшие задачи, приводимые нами, может различаться примерно до $\frac{1}{4}$ часа в зависимости от способа расчета.

II

Для решения многих астрономических задач нужно знать три основные формулы косоугольного сферического треугольника со сторонами a, b, c (выраженными в градусах) и углами A, B, C . Формулы

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A, \quad (1)$$

$$\sin a \cos B = \cos b \sin c - \sin b \cos c \cos A, \quad (2)$$

$$\sin a \sin B = \sin b \sin A \quad (3)$$

позволяют найти сторону и прилежащий угол по двум другим сторонам и углу между ними.

Эти три формулы позволяют производить преобразование небесных координат. Построив на чертеже небесной сферы для местности, имеющей широту φ , горизонтальные (z и A) и экваториальные координаты (δ и t) точки M , применив к полученному на чертеже треугольнику PZM (рис. 7) три предыдущие формулы, получаем формулы, определяющие z и A по данным t и δ . (Если даны α и δ , то должен быть указан момент по звездному времени s , и тогда $t = s - \alpha$, так что задача сводится к предыдущей.) Имеем:

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t, \quad (4)$$

$$\sin z \cos A = -\sin \delta \cos \varphi + \cos \delta \sin \varphi \cos t, \quad (5)$$

$$\sin z \sin A = \cos \delta \sin t. \quad (6)$$

Для удобства вычисления z и A по таблицам логарифмов эти формулы приводят к логарифмическому виду (не содержащему сумм или разностей тригонометрических функций). Полагают

$$m \sin M = \sin \delta, \quad (7)$$

$$m \cos M = \cos \delta \cos t, \quad (8)$$

где M — вспомогательный угол, а $0 < m < 1$. Тогда имеем

$$\cos z = m \cos (\varphi - M), \quad (9)$$

$$\sin z \cos A = m \sin (\varphi - M), \quad (10)$$

$$\sin z \sin A = \cos \delta \sin t. \quad (11)$$

Так как функция точнее определяется по тангенсу, чем по синусу или косинусу, то, деля формулы (7) и (8) друг на

друга, получают

$$\operatorname{tg} M = \operatorname{tg} \delta \sec t, \quad (12)$$

откуда находят M . Четверть, в которой лежит угол M , определяют по формуле (7). Так как $m > 0$, знак $\sin M$ одинаков со знаком $\sin \delta$. Если, например, $\operatorname{tg} M$ положителен, а $\sin M$ отрицателен, M лежит в III четверти. Затем находят m по формуле

$$m = \sin \delta \operatorname{cosec} M. \quad (13)$$

После этого находят $\varphi - M$ и вычисляют A по формуле

$$\operatorname{tg} A = \frac{\cos \delta \sin t}{m \sin (\varphi - M)}. \quad (14)$$

Четверть для A определяют по знаку $\sin A$, который (поскольку $\sin z$ и $\cos \delta$ всегда больше нуля) одинаков со знаком $\sin t$. Найдя A , определяют z по формуле

$$\operatorname{tg} z = \operatorname{tg} (\varphi - M) \sec A, \quad (15)$$

устанавливая четверть для z из (9), по которой видно, что знак $\cos z$ одинаков со знаком $\cos (\varphi - M)$, ибо $m > 0$.

Итак, для вычисления служат формулы (12) — (15).

Совершенно аналогично этому выводятся формулы преобразования z и A в δ и t , δ и α в λ и β , λ и β в α и δ .

При вычислениях подобного рода необходимо заранее составить схему для вычислений в виде столбика, выписав в ней обозначения величин, которые предстоит находить по таблицам или вычислять. Для краткости знака $\lg$ при тригонометрических функциях мы писать не будем. Значок n около числа, представляющего $\lg$, означает, что само число, логарифм которого выписан, — отрицательное. Буква ∂ означает дополнение до нуля.

Например, задачу 84 удобно решать по следующей схеме:

t^h	$2^h 22^m 36^s$	$\cos \delta$	9,62897
t°	$35^\circ 39' 00''$	$\sin t$	9,76554
$\operatorname{tg} \delta$	0,32765	∂m	0,01378
$\partial \cos t$	0,09013	$\sin (\varphi - M)$	0,79878 _n
$\operatorname{tg} M$	0,41778	$\operatorname{tg} A$	0,20707 _n
M	$69^\circ 5', 2$	A	$121^\circ 49', 9$
$\varphi - M$	$-9^\circ 8', 7$	$\operatorname{tg} (\varphi - M)$	9,20677 _n
$\sin \delta$	9,95662	$\partial \cos A$	0,27784 _n
$\delta \sin M$	0,02960		
		$\operatorname{tg} z$	9,48461
m	9,98622	z	$16^\circ 58', 4$

ПЕРВЫЙ КОНЦЕНТР

34. В какой точке неба склонение равно — 90° ?
35. Полярная звезда отстоит от полюса мира на $58'$. Чему равно ее склонение?
36. Чему равны азимуты точек севера, юга, востока и запада?
37. Чему равно склонение точки зенита на географической широте 42° ?
38. Каковы горизонтальные координаты полюса мира в местности, географическая широта которой $+23^\circ 27'$?
39. Чему равны часовой угол и азимут зенита?
40. Чему равен часовой угол точки запада? точки востока?
41. Чему равно прямое восхождение (α) и склонение (δ) точки весеннего равноденствия?
42. Для какой точки небесной сферы и прямое восхождение и склонение равны нулю? Каковы астрономические широта и долгота этой точки?
43. Каковы астрономические широта и долгота северного полюса мира?
44. Определить прямое восхождение и склонение северного полюса эклиптики.
45. Какую долготу и широту имеет северный полюс эклиптики?
46. Определить зенитное расстояние Солнца, когда длина тени от предмета равна его высоте.
47. Склонение светила $+30^\circ$, прямое восхождение 7 часов. В каком созвездии оно находится (см. звездную карту)?
48. Найти по координатам на звездной карте (лучше всего «немой», т. е. не содержащей названий звезд, как, например, в большом атласе проф. Михайлова), следующие звезды:

α	δ	m
$3^h 21^m, 0$	$+8^\circ 47'$	3,80
$9^h 26^m, 0$	$+63^\circ 22'$	3,75
$15^h 13^m, 2$	$-9^\circ 8'$	2,74
$18^h 4^m, 0$	$+9^\circ 33'$	3,73
$22^h 26^m, 5$	$+58^\circ 3'$	переменная
$0^h 37^m, 3$	$+40^\circ 43'$	»

В последнем столбце указан блеск звезды в звездных величинах. Найти по какому-либо списку звезд или по

звездной карте точные α и δ и звездную величину звезд: α Кита, β Лебеда, ε Лиры, γ Большого Пса, ϕ Стрельца, κ Большой Медведицы, α Малой Медведицы.

49. Почему удобно считать азимуты в направлении юг — запад — север — восток?

50. Почему счет прямых восхождений ведется с запада на восток, а не в обратном направлении?

51. Прямые восхождения звезд, равные $284^{\circ}15'17''$, $17^{\circ}57'1''$, $191^{\circ}13'59''$ выразить в часах, минутах и секундах.

52. Прямые восхождения звезд $3^{\text{h}}17^{\text{m}}9^{\text{s}}$, $19^{\text{h}}2^{\text{m}}39^{\text{s}}$ и $21^{\text{h}}0^{\text{m}}3^{\text{s}}$ выразить в градусной мере.

53. Выразить в градусной мере угол между кругами склонения двух звезд, из которых одна кульминировала в $5^{\text{h}}12^{\text{m}}$, а другая в $5^{\text{h}}32^{\text{m}}$ звездного времени.

54. Азимут светила 45° , высота 60° . В какой стороне неба надо искать это светило?

55. Светило имеет часовой угол $t = 18$ часам. В какой части небесной сферы оно видно?

56. Чему равен часовой угол звезды через 6 часов после ее верхней кульминации?

57. Каков часовой угол звезды Денеб в $23^{\text{h}}17^{\text{m}}$ звездного времени, если ее прямое восхождение $20^{\text{h}}38^{\text{m}}$?

58. При каком условии звезда прямого восхождения α будет находиться к востоку от меридиана в данный момент звездного времени?

59. Звездное время равно $21^{\text{h}}14^{\text{m}}$. Прямое восхождение звезды равно $14^{\text{h}}30^{\text{m}}$. Найти часовой угол звезды.

60. Часовой угол звезды равен $14^{\text{h}}22^{\text{m}}$. Прямое восхождение ее равно $13^{\text{h}}2^{\text{m}}$. Найти звездное время в момент этого наблюдения.

61. Чему равно звездное время, если звезда с прямым восхождением $21^{\text{h}}9^{\text{m}}23^{\text{s}}$ имеет часовой угол $98^{\circ}11'15''$ к востоку?

62. Где стоит на небе Сириус ($\alpha = 6^{\text{h}}41^{\text{m}}$) 21 марта через час после захода Солнца? 23 сентября через час после восхода Солнца (для средних широт северного полушария)?

63. Каково будет положение звезды, имеющей прямое восхождение 7^{h} и склонение 40° , 21 марта через час после захода Солнца для наблюдателя, находящегося на широте 40° ?

64. Две самые яркие звезды северного полушария неба — Вега ($\alpha = 18^{\text{h}}34^{\text{m}}$) и Капелла ($\alpha = 5^{\text{h}}10^{\text{m}}$). В какой

стороне неба (в западной или восточной) и под каким часовым углом они находятся в момент верхней кульминации точки весеннего равноденствия? В момент нижней кульминации той же точки?

65. Какой интервал звездного времени проходит от нижней кульминации Капеллы до верхней кульминации Веги? (Данные см. в предыдущей задаче).

66. Каков часовой угол Капеллы в момент верхней кульминации Веги? В момент ее нижней кульминации? (См. задачу 64.)

67. Каково склонение звезд, которые в любом месте Земли могут быть видимы на горизонте?

68. При каких условиях азимут звезды не меняется от ее восхода до кульминации?

69. При каких условиях азимут любой звезды равен $270^\circ - \lambda$, где λ — астрономическая долгота этой звезды?

70. Найти геометрическое место точек сферы, для которых астрономическая долгота равна прямому восхождению.

71. Найти геометрическое место точек сферы, для которых астрономическая широта равна склонению.

72. Найти те точки сферы, для которых широта равна склонению и долгота равна прямому восхождению.

73. Средняя линия Млечного Пути образует большой круг, пересекающийся с экватором под углом 62° . Прямое восхождение одной из этих точек пересечения 18^h40^m . Определить экваториальные координаты северного полюса Млечного Пути.

74. Какие звезды в вашем городе никогда не пересекают первого вертикала?

ВТОРОЙ КОНЦЕНТР

75. В сферическом треугольнике известны сторона $a = 57^\circ22'11''$, сторона $b = 72^\circ12'19''$ и угол $C = 94^\circ1'49''$. Вычислить сторону c и углы A и B .

76. Выразить формулой угловое расстояние l между двумя точками на сфере, координаты которых заданы в экваториальной системе. (ВВ)

77. Определить в дуге большого круга расстояние (по формуле задачи 76) между звездами α и β Большой Медведицы, координаты которых

$$\alpha_1 = 10^h59^m, \quad \delta_1 = +62^\circ10', \quad \alpha_2 = 10^h57^m, \quad \delta_2 = +56^\circ47'.$$

(ВВ)

78. Начало и конец пути метеора по звездному небу отстоят от северного полюса мира на 90° и на $136^\circ 19' 0''$, а угол между кругами склонения, проходящими через эти точки, равен $62^\circ 20' 42''$. Определить длину пути метеора в градусах и углы, под которыми его путь пересек два упомянутых круга склонения.

79. Вывести три формулы преобразования горизонтальных координат A и z в экваториальные t и δ для местности с широтой φ . Привести их к логарифмическому виду.

80. Вывести три формулы преобразования экваториальных координат α и δ в эклиптические λ и β . Применить формулы к координатам Солнца. Указание: построить чертеж; наклон экватора к эклиптике обозначить через ε .

81. Вывести формулы преобразования эклиптических координат λ и β в экваториальные α и δ , обозначив наклон эклиптики к экватору через ε . Как упростятся выведенные формулы, если применить их к Солнцу, движущемуся по эклиптике?

82. Привести к логарифмическому виду формулы преобразования экваториальных координат α и δ в эклиптические β и λ .

83. Вывести три общие формулы преобразования сферических координат x и y в x' и y' , если первые определяются по отношению к большому кругу сферы s , а вторые по отношению к большому кругу s' , угол между которыми равен i . Одна из точек пересечения s' с s в первой системе имеет координаты $\theta, 0$, а во второй системе $\theta', 0$.

84. Найти зенитное расстояние и азимут α Дракона ($\alpha = 14^h 1^m 57^s$, $\delta = 64^\circ 48', 8$) в Ленинграде ($\varphi = 59^\circ 56', 6$) в $16^h 24^m 33^s$ звездного времени. Указание: См. схему вычислений на стр. 25.

85. Вычислить зенитное расстояние и азимут α Льва ($\alpha = 10^h 4^m, 7$, $\delta = +12^\circ 18'$) в Москве ($\varphi = 55^\circ 45'$) для момента звездного времени $s = 5^h 23^m, 8$.

86. Вычислить зенитное расстояние и азимут Арктура для Саратова ($\varphi = 51^\circ 32' 0''$) в $13^h 34^m 54^s$ звездного времени ($\alpha = 14^h 11^m 58^s$, $\delta = +19^\circ 36' 6''$).

87. Вычислить α и δ звезды, которая в Москве в момент звездного времени $s = 11^h 11^m 36^s$ имела координаты $z = 49^\circ 15' 10''$ и $A = 298^\circ 28' 50''$. Указание: Воспользоваться формулами, приведенными в ответе к задаче 79.

88. Комета имеет экваториальные координаты $\alpha = 81^{\circ}48',7$, $\delta = +68^{\circ}28'$. Каковы ее эклиптические координаты λ и β ($\varepsilon = 23^{\circ}27'26''$)? *Указание:* Воспользоваться формулами, приведенными в ответе к задаче 82.

89. Найти широту β и долготу λ звезды α Ориона, имеющей координаты $\alpha = 5^{\text{h}}49^{\text{m}}$, $\delta = +7^{\circ}23'$. *Указание:* Воспользоваться формулами, приведенными в ответе к задаче 82.

90. 9 мая прямое восхождение Солнца было $45^{\circ}30'$. Зная наклонение эклиптики к экватору ($23^{\circ}27'$), определить склонение Солнца. *Указание:* Воспользоваться ответом к задаче 81.

91. Долгота Солнца равна $71^{\circ}11',7$. Вычислить экваториальные координаты Солнца ($\varepsilon = 23^{\circ}27',2$). *Указание:* Воспользоваться ответом к задаче 81.

92. Долгота Солнца равна $43^{\circ},6$. Найти его склонение и прямое восхождение. То же для момента, когда долгота Солнца $143^{\circ},6$ (15 августа). *Указание:* Выполнить приблизительную проверку правильности вычисления, сравнив его с данными астрономического календаря.

93. Определить долготу Солнца 2 января и 5 июля, если в эти дни δ и α Солнца по астрономическому календарю — $23^{\circ},0$, $18^{\text{h}}49^{\text{m}}$ и $+22^{\circ},8$, $6^{\text{h}}55^{\text{m}}$. *Указания:* Воспользоваться ответом к задаче 82. Проверить правильность вычисления расчетом долготы Солнца, зная его среднее суточное движение по эклиптике. (ВВ)

94. Точка наблюдения лежит на $\varphi = 52^{\circ}30'$ северной широты. Через $3^{\text{h}}40^{\text{m}}$ после своей верхней кульминации Солнце находится на высоте $h = 33^{\circ}8'$. Каков азимут Солнца A и склонение Солнца δ в этот день в момент наблюдения?

95. Через сколько времени после своей верхней кульминации Солнце находится на высоте $h = 35^{\circ}$ 13 июня в Киеве ($\varphi = 50^{\circ}27'$ северной широты), если склонение Солнца $\delta = +23^{\circ}12'$?

96. При наблюдениях планет бывает важно знать положения их осей относительно круга склонения, проходящего через центр видимого диска. Однако наблюдателю легче наметить круг высоты — как он проходит по диску планеты — и отметить его на рисунке. Тогда, чтобы пометить на рисунке положение оси планеты, надо знать угол при центре планеты между проходящими через ее центр кругами склонения и высоты. Вывести формулу для этого угла p , если координаты планеты α и δ и момент на-

блюдения z по звездному времени известны. Найти три формулы, определяющие этот угол, и зенитное расстояние светила z . Привести их к логарифмическому виду, введя вспомогательные величины m и M .

97. Для определения условий видимости светил, находящихся вблизи эклиптики, нужно знать угол, образуемый эклиптикой с горизонтом местности, имеющей широту φ . Определить этот угол в функции звездного времени s и вывести условия его максимума и минимума. (ВВ)

98. Пусть x, y, z — гелиоцентрические экваториальные координаты светила (ось x направлена в точку весеннего равноденствия, ось y лежит в плоскости экватора). Пусть X, Y, Z — прямоугольные оси координат с началом в центре Солнца с осью X , направленной в точку весеннего равноденствия, и осью Y , лежащей в плоскости эклиптики (гелиоцентрические эклиптические прямоугольные координаты). Доказать, что $x = X, y = Y \cos \varepsilon - Z \sin \varepsilon; z = Y \sin \varepsilon + Z \cos \varepsilon$, где ε — наклонение эклиптики к экватору. (ВВ)

99. Светило находится от Земли на расстоянии ρ и имеет геоцентрические экваториальные координаты α и δ . Экваториальные геоцентрические (относительно Земли) координаты Солнца: X_0, Y_0, Z_0 (ось X_0 направлена в точку весеннего равноденствия, а ось Y_0 лежит в плоскости экватора). Пусть x, y, z — гелиоцентрические экваториальные прямоугольные координаты светила (см. предыдущую задачу). Доказать, что для определения, ρ, α и δ служат формулы

$$\rho \cos \alpha \cos \delta = x + X_0,$$

$$\rho \sin \alpha \cos \delta = y + Y_0,$$

$$\rho \sin \delta = z + Z_0.$$

100. Пусть R — расстояние Земли от Солнца, а L — ее гелиоцентрическая долгота. Пусть светило на расстоянии ρ от Земли имеет геоцентрические эклиптические координаты β и λ . Доказать, что

$$\rho \cos \beta \cos \lambda = x - R \cos L,$$

$$\rho \cos \beta \sin \lambda = y - R \sin L,$$

$$\rho \sin \beta = z,$$

где x, y, z — эклиптические прямоугольные гелиоцентрические координаты светила. (ВВ)

IV. КУЛЬМИНАЦИЯ СВЕТИЛ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ШИРОТЫ И КООРДИНАТ НЕБЕСНЫХ СВЕТИЛ

I

В верхней кульминации, когда светило пересекает меридиан, выше всего поднимаясь в этот момент над горизонтом, его часовой угол $t = 0$ и звездное время s в этот момент равно прямому восхождению α светила.

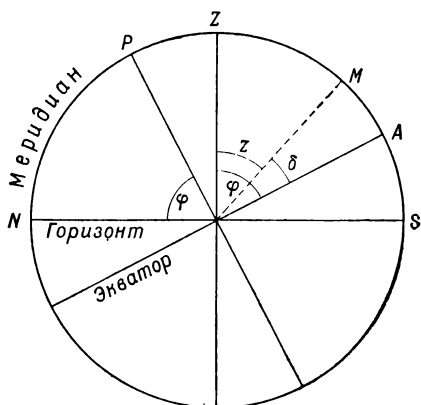


Рис. 8. Небесная сфера в проекции на плоскость меридиана.

В нижней кульминации звезда дальше всего отстоит от зенита, ее часовой угол $t = 12^h$ и звездное время в этот момент $s = \alpha + 12^h$. Как видно из рисунка 8, представляющего проекцию небесной сферы на плоскость меридиана, в момент верхней кульминации светила его склонение δ , его зенитное расстояние z и широта места наблюдения φ связаны формулой $z = \pm (\varphi - \delta)$. Знак $+$ берется, если звезда кульминирует к югу от зенита, а знак $-$ берется, если звезда кульминирует между зенитом и полюсом мира.

Зная две из величин, входящих в эту формулу, можно найти третью. Практически z обычно измеряют при наблюдениях, δ и φ находят вычислением. Для многих городов φ можно узнать по справочнику или по географической карте. Для многих звезд δ известно из измерений зенитных расстояний в кульминациях, если географическая широта известна (по вышеприведенной формуле),

а также может быть найдено в списках или каталогах координат звезд. Из задачи 135 видно, что можно найти и φ и δ сразу, измеряя зенитное расстояние звезды в двух кульминациях.

На рисунке 9 изображена небесная сфера для наблюдателя, находящегося на широте φ . Для него суточные пути незаходящих звезд располагаются между кругом

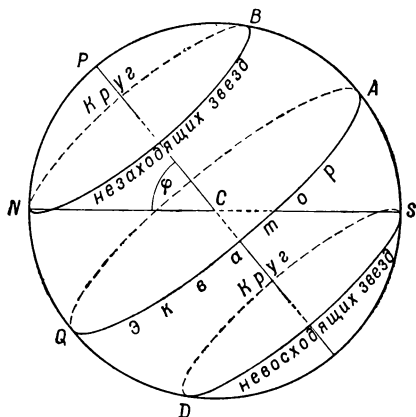


Рис. 9. Круги звезд незаходящих и невосходящих.

незаходящих звезд и полюсом P . Суточные пути невосходящих звезд заключены между соответствующим кругом и другим полюсом, а звезд восходящих и заходящих — между двумя этими кругами. Формулы, выражающие условия принадлежности звезды к той или другой группе, легко вывести из рис. 8 и 9.

II

Задачи второго концентра не требуют никаких пояснений.

ПЕРВЫЙ КОНЦЕНТР

101. Чему равен азимут звезды в момент верхней кульминации для места на широте φ ? У всех ли звезд он одинаков?

102. У каких светил азимут в вашем городе никогда не равен нулю?

103. При каком склонении звезды ее азимут в момент верхней кульминации равен 0° и при каком он равен 180° ?

104. Москва и столица Абиссинии Аддис-Абеба лежат почти на одном меридиане. Широта Москвы $+56^\circ$, Аддис-Абебы $+9^\circ$. Какова разность высот, на которых звезду Сириус в момент верхней кульминации видят наблюдатели в этих городах?

105. Сравнить азимуты и высоты одного и того же светила в момент нижней кульминации для наблюдателей, находящихся на широтах φ и $\varphi + 30^\circ$. (ВВ)

106. Доказать, что высота звезды в нижней кульминации выражается формулой $h = \varphi + \delta - 90^\circ$.

107. Каково зенитное расстояние Веги ($\delta = +38^\circ 42'$) во время верхней кульминации в Москве ($\varphi = 55^\circ 45'$)?

108. На каком зенитном расстоянии проходит через верхнюю кульминацию звезда Капелла ($\delta = +45^\circ 54'$) в Ленинграде ($\varphi = 59^\circ 57'$)? в Ташкенте ($\varphi = 41^\circ 20'$)?

109. Звезда отстоит от северного полюса мира на 15° . Всегда ли она находится над горизонтом Ленинграда ($\varphi = 59^\circ 57'$)?

110. Может ли какая-нибудь одна и та же звезда проходить через небесный меридиан г. Иркутска ($\varphi = 52^\circ 16'$) и в точке севера и в точке юга? А в других местах Земли может ли быть такое явление?

111. Полярное расстояние звезды равно $20^\circ 15'$. Каково ее зенитное расстояние в нижней кульминации в Вологде ($\varphi = 59^\circ 13'$)?

112. Звезда отстоит от полюса мира на 48° . Всегда ли ее можно видеть над горизонтом Одессы ($\varphi = 46^\circ 29'$), Москвы ($\varphi = 55^\circ 45'$), Киева ($\varphi = 50^\circ 27'$) и Тбилиси ($\varphi = 41^\circ 43'$)?

113. Восходит ли в Архангельске ($\varphi = 64^\circ 35'$) Фомальгаут (α Южной Рыбы), склонение которого равно $-30^\circ 5'$?

114. Определить, в каких местах Земли начинает быть видимо созвездие Южного Креста, расположенное в пределах южного склонения от -55° до -64° , и проследить по земному глобусу или по карте земных полушарий, в каких странах лежат эти места?

115. Некто уверял, что его знакомый, живя в Саратове ($\varphi = 51^\circ 32'$), видел днем звезду Капеллу ($\delta = 45^\circ 54'$) из очень глубокого колодца. Могло ли это быть из геометрических соображений? (Известно, что вообще звезды из колодцев днем не могут быть видны.)

116. Звезда, описывающая над горизонтом дугу в 180° от восхода до захода, во время верхней кульминации отстоит от зенита на 55° . Под каким углом небесный экватор наклонен к горизонту данной местности?

117. Каково склонение звезды, наблюдавшейся в Архангельске ($\varphi = 64^\circ 35'$), в нижней кульминации на высоте 10° ?

118. В Одессе ($\varphi = 46^\circ 29'$) на зенитном расстоянии $63^\circ 5'$ наблюдалась верхняя кульминация Сириуса. Каково его склонение?

119. Каково склонение звезд, кульминирующих в местности с широтой φ в точке севера?

120. Каково склонение звезд, кульминирующих в зените места, широта которого равна φ ?

121. Какому условию должно удовлетворять склонение δ звезды, чтобы она была незаходящей под широтой φ ? Чтобы она была невосходящей?

122. Каково склонение звезд, проходящих в верхней кульминации через зенит городов Москвы, Киева и Тбилиси? (Их широты см. в задаче 112.)

123. До какого склонения видны звезды южного полушария в Ленинграде ($\varphi = 59^\circ 57'$) и в Ташкенте ($\varphi = 41^\circ 20'$)?

124. В Москве ($\varphi = 55^\circ 45'$) в полдень высота Солнца оказалась равной $57^\circ 17'$. Пользуясь астрономическим календарем, определить, в какой день года было сделано это измерение.

125. Приборы советской дрейфующей станции «Северный полюс» позволяли по наблюдениям звезд определять ее местонахождение на земном шаре с точностью до 250 м. Такая точность позволяла следить за дрейфом льдины. Указать, с какой точностью определялась географическая широта (длина градуса меридиана равна 111 км). (ВВ)

126. В Тбилиси наблюдалась в нижней кульминации звезда β Малой Медведицы ($\delta = +74^\circ 31'$) на зенитном расстоянии $63^\circ 46'$. Какова широта Тбилиси?

127. Звезда α Возничего ($\delta = +45^\circ 54'$) в момент нижней кульминации видна на горизонте. Какова высота полюса мира над горизонтом в месте наблюдения?

128. Высота звезды, находящейся на небесном экваторе, в момент ее верхней кульминации равна 30° . Какова высота полюса в месте наблюдения?

129. Требуется определить географическую широту местности, наблюдая высоту светила в кульминации.

Где лучше выбрать для этого светило, чтобы получить большую точность результата — ближе к зениту или дальше от него, и почему (см. раздел V)? (ВВ)

130. Человек взял палку длиной в 1 м и, воткнув ее в землю, измерил в полдень длину ее тени. Взяв по календарю склонение Солнца в этот день, он определил широту своей местности и получил ошибочный результат, несмотря на правильность его вычислений. В чем должна заключаться причина этой ошибки? (ВВ)

131. К югу от зенита высота нижнего края Солнца в меридиане, измеренная с помощью секстана на морском судне, была $84^{\circ}21'$, склонение центра Солнца $+18^{\circ}39'$. Определить широту, учитывая, что угловой диаметр Солнца равен $32'$.

132. Полуденная высота центра Солнца, измеренная штурманом океанского парохода, оказалась $30^{\circ}15'$ (с учетом всех нужных поправок). Склонение Солнца в это время $\delta = -19^{\circ}25'$. Определить широту.

133. Наблюденное зенитное расстояние нижнего края Солнца в верхней кульминации с учетом всех поправок было $55^{\circ}42'19''$, угловой радиус Солнца $16'10''$, склонение центра Солнца $-14^{\circ}34'56''$. Определить широту места.

134. Найти широту местности, если полуночное Солнце наблюдалось на высоте $4^{\circ}11'$, а его склонение было $+22^{\circ}8'$.

135. Незаходящая звезда имеет высоту 20° в нижней кульминации и 50° в верхней. Найти склонение этой звезды и широту места наблюдения. *Указание:* Сделать чертеж.

136. Незаходящая звезда наблюдалась в верхней кульминации к северу от зенита на зенитном расстоянии $29^{\circ}47'$, а в нижней — на $41^{\circ}49'$. Определить географическую широту места наблюдения.

137. В каком месте Земли любой круг склонения может совпасть с горизонтом?

138. Звезда имеет часовой угол 20° и зенитное расстояние 40° . Каков будет ее часовой угол по другую сторону меридиана на той же высоте?

139. В каком часу по звездному времени происходит нижняя кульминация звезды, имеющей прямое восхождение $158^{\circ}27'$?

140. В данный момент звездное время $s = 6^h38^m$. Определить прямое восхождение светил, которые будут находиться в верхней кульминации через 2^h10^m .

141. Прямое восхождение первой звезды равно 5^h29^m , а второй 10^h31^m . Определить, через сколько времени прокульминирует вторая звезда после первой и первая после второй.

142. Если сегодня некоторая звезда кульминировала в 8^h0^m вечера, когда она будет кульминировать через 10 дней?

143. Когда, приблизительно, по солнечному времени *) 10 февраля кульминирует звезда Арктур ($\alpha = 14^h12^m$)?

144. В каком часу солнечного времени 1 августа будет кульминировать Арктур, если его прямое восхождение равно 14^h12^m ?

145. В каком часу солнечного времени кульминирует 1 октября α Лебеда ($\alpha = 20^h39^m$)?

146. Какие звезды проходят меридиан 3 октября в 10^h30^m вечера? Какие созвездия уже прошли меридиан и видны на юго-западе и какие видны на юго-востоке? Воспользоваться звездной картой.

147. Рассчитать приблизительно, какие звезды будут находиться в верхней кульминации в 10 часов вечера 28 июля.

148. Какие созвездия будут находиться в 8 часов сегодняшнего вечера в пределах двух часов по обе стороны от меридиана? Найти их на небе.

149. Рассчитать, в какое время года около 9 часов вечера ковш Большой Медведицы расположен ручкой книзу, зная, что это созвездие расположено между $8^h\frac{1}{2}$ и $12^h\frac{1}{2}$ часами прямого восхождения. (ВВ)

150. В какой день Сириус, самая яркая звезда неба ($\alpha = 6^h42^m$), кульминирует в полночь?

151. Если звезда, прямое восхождение которой равно 18^h , находится в меридиане в 8 часов вечера, то какие тогда приблизительно месяц и число?

152. В котором часу ночи 10 октября звезда Мицар ($\alpha = 13^h20^m$) будет находиться как раз под северным полюсом мира?

153. Звезда δ Ориона 14 ноября восходит в 8 часов вечера. В какой день она взойдет в 5^h30^m вечера? Каково

*) В этой и следующих задачах имеется в виду среднее солнечное время.

приблизительно ее прямое восхождение, если ее склонение равно нулю?

154. Какие α и δ должны иметь две звезды, которые в 7^ч35^м звездного времени кульминировали бы в Москве ($\varphi = 55^\circ 45'$) на зенитном расстоянии $z = 40^\circ$ одна к югу, другая к северу от зенита?

155. В пункте с широтой $\varphi = 55^\circ 20'$ ожидают кульминацию α Большой Медведицы ($\alpha = 10^{\text{ч}}57^{\text{м}}34^{\text{с}}$, $\delta = +62^\circ 8'$), для чего теодолит установлен в плоскости меридиана. Определить: 1) угол, на который труба должна быть отклонена от зенита, 2) время кульминации по звездным часам, поправка которых $u = -2^{\text{м}}3^{\text{с}}$.

156. В Киеве ($\varphi = 50^\circ 27'$) наблюдалась кульминация появившейся кометы. По вертикальному кругу теодолита зенитное расстояние (к югу от зенита) оказалось $3^\circ 52'$, а по звездным часам момент кульминации 15^ч15^м10^с. Определить α и δ кометы.

157. Астроном наблюдал прохождение светила через меридиан (верхняя кульминация) в 7^ч35^м15^с,4 по звездным часам и определил зенитное расстояние светила в $44^\circ 15'$. Поправка часов, определенная в этот вечер, была равна $+0^{\text{м}}33^{\text{с}}$,4. Каковы координаты светила, если широта обсерватории $56^\circ 20'$?

158. Планета пересекла меридиан на 2^м19^с раньше, чем звезда с координатами $\alpha = 0^{\text{ч}}19^{\text{м}}4^{\text{с}}$, $\delta = +0^\circ 13',2$. Зенитное расстояние планеты в этот момент было на $19',4$ больше, чем у звезды в ее кульминации. Каковы координаты планеты? (ВВ)

159. Желая определить координаты появившейся кометы, астроном при помощи измерения нитяным микрометром нашел, что комета находилась на $3^\circ 51''$ севернее звезды, имеющей координаты $\alpha = 19^{\text{ч}}10^{\text{м}}14^{\text{с}}$, $\delta = -18^\circ 14'9''$. При неподвижной трубе через нить, установленную по кругу склонения, комета прошла на 1^м1^с раньше, чем звезда. Каковы координаты кометы? (ВВ)

ВТОРОЙ КОНЦЕНТР

160. В какой части неба изменения зенитного расстояния светила в единицу времени являются наибольшими и в какой части неба они наименьшие? (ВВ)

161. В какой части неба азимуты светил меняются быстрее всего и в какой — медленнее всего? (ВВ)

162. Как можно точнее отметить момент прохождения звезды через меридиан — отмечая момент, когда ее зенитное расстояние наименьшее, или отмечая момент прохождения ее через вертикальную нить телескопа, расположенного в плоскости меридиана? (ВВ)

163. Почему при определении по Солнцу широты с помощью универсального инструмента измеряют высоту Солнца около полудня, а при определении поправки часов определяют высоту Солнца близ первого вертикала? (ВВ)

164. Где на Земле и для какой звезды изменение ее зенитного расстояния в течение суток неизменно пропорционально изменению ее часового угла?

165. Из первой формулы преобразования экваториальных координат α и δ в горизонтальные,

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

получить формулу, определяющую зенитное расстояние светил в верхней кульминации. (ВВ)

166. В точке северного полушария, широту которой надо определить, установлен вертикально стержень длиной $l = 2,5$ м. Через 3^ч40^м звездного времени после верхней кульминации Солнца он отбрасывает на горизонтальную плоскость тень длиной $l = 3,831$ м. Какова географическая широта места, если склонение Солнца в день наблюдения $\delta = +15^\circ 20'$?

167. Найти широту места, зная склонение звезды и ее часовые углы в моменты времени, когда азимуты звезды разнятся на 180° (Казаков). Указание: Воспользоваться формулами (4)—(6) раздела III.

168. Доказать, что в течение суток предельные значения азимута звезды (к востоку или к западу от меридиана), имеющей склонение δ , большее широты места наблюдения, определяются формулой

$$\sin A = \mp \frac{\cos \delta}{\cos \varphi}.$$

Указание: Построить чертеж и применить три основные формулы сферической тригонометрии.

169. На северной широте 45° наибольший азимут некоторой околополярной звезды равен 225° . Доказать, что склонение этой звезды равно $+60^\circ$. Указание: Воспользоваться формулой предыдущей задачи.

У. РЕФРАКЦИЯ

И

Луч света каждого небесного светила, входя из безвоздушного межпланетного пространства в земную атмосферу, испытывает в ней *преломление*. Луч света благодаря преломлению становится криволинейным и попадает в глаз наблюдателя по направлению, более близкому к отвесной линии, чем это было бы в случае отсутствия атмосферы. Иными словами, описанное явление, называемое *рефракцией*, уменьшает зенитные расстояния светил (и увеличивает их высоты над горизонтом). Непосредственно измеренные при наблюдениях зенитные расстояния светил прежде всего должны быть исправлены за искажающее влияние рефракции. Величина рефракции, равная нулю для зенита, быстро растет с приближением к горизонту и на самом горизонте достигает $35'$. При температуре воздуха $+10^{\circ}\text{C}$ и давлении 760 мм рт. ст. рефракция приблизительно выражается формулой $r = 58'',2 \operatorname{tg} z$, расходящейся с действительными значениями по мере увеличения z все больше и больше. При $z = 70^{\circ}$ формула дает величину, повернутую на $1''$, а при больших z вообще не может применяться. Для более точного учета рефракции надо принимать во внимание температуру и давление воздуха. Величина средней рефракции, приводимая в таблице VIII в зависимости от зенитного расстояния, соответствует температуре $+10^{\circ}\text{C}$ и давлению 760 мм рт. ст. Влияние температуры и давления сравнительно невелико.

В настоящем разделе приведены задачи, в которых требуется наблюденные высоты светил исправить за влияние рефракции, и задачи на рефракцию вообще. Задачи на вычисление восхода и захода небесных светил с учетом рефракции даны в разделе IX «Восход и заход светил».

ВТОРОЙ КОНЦЕНТР

170. Влияет ли рефракция на обе экваториальные координаты светил или только на одну и всегда ли?

171. Влияет ли рефракция на обе эклиптические координаты светил и всегда ли?

172. На широте $55^{\circ}45'20''$ в момент верхней кульминации измерено зенитное расстояние звезды $50^{\circ}0'0''$.

Пользуясь таблицей рефракции, определить склонение звезды.

173. На обсерватории под широтой $55^{\circ}45'20''$ измеренное зенитное расстояние звезды в верхней кульминации получилось $47^{\circ}59'48''$. Чему равно склонение звезды с учетом средней рефракции?

174. Полуночная высота нижнего края Солнца по измерению с советского ледокола была $14^{\circ}11'5''$. Склонение Солнца в этот день $+21^{\circ}19'34''$, угловой радиус Солнца $15'47''$.

Определить, с учетом рефракции, широту, на которой находилось судно, штурманом которого были сделаны эти наблюдения.

175. Наблюденное зенитное расстояние звезды β Малой Медведицы в верхней кульминации было $24^{\circ}2'8''$, а в нижней кульминации $53^{\circ}51'51''$. Найти широту места наблюдения и склонение звезды, приняв во внимание рефракцию.

176. Штурман корабля нашел зенитное расстояние центра Солнца в полночь равным 80° . Где и в какое время года мог находиться корабль и на сколько километров (приблизительно) штурман ошибочно определил бы положение корабля по широте, если бы он не учел влияния рефракции? (ВВ)

177. На сколько действие рефракции удлиняет продолжительность дня на экваторе Земли? (ВВ)

178. Можно ли одновременно видеть над горизонтом Солнце и полную Луну? (ВВ)

179. Увеличивает или уменьшает рефракция видимые диаметры Солнца и Луны около горизонта? (ВВ)

180. Увеличивает ли рефракция видимую площадь солнечного диска, когда это светило находится вблизи горизонта?

181. Меняется ли видимое нами положение Юпитера на небе среди звезд из-за того, что солнечный свет преломляется в атмосфере самого Юпитера? (ВВ)

182. Нужно ли учитывать практически влияние рефракции на измеренное угловое расстояние между компонентами двойной звезды с расстоянием порядка $1''$ и почему? (ВВ)

183. В некоторый момент была измерена разность азимутов двух звезд, имеющих прямые восхождения $8^{\text{ч}}50^{\text{м}}$ и $9^{\text{ч}}46^{\text{м}}$. Уменьшится или увеличится эта разность, если учесть влияние рефракции? (ВВ)

184. Наблюдения на меридианном круге звезды β Малой Медведицы в ее верхней и нижней кульминации дали такие значения высоты: $55^{\circ}48'6''$ и $24^{\circ}58'56''$. Определить склонение звезды и широту местности с учетом рефракции.

185. Получив извещение об открытии новой малой планеты, астроном задался целью в тот же вечер определить ее точные экваториальные координаты. Наблюдая ее на меридианном круге, он нашел, что верхняя

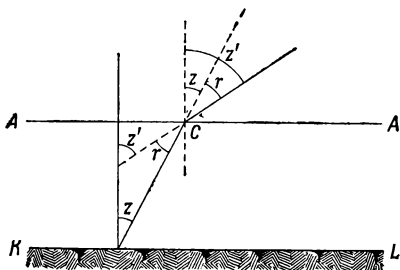


Рис. 10.

кульминация планеты произошла на высоте $37^{\circ}19'55''$ в $5^{\text{h}}18^{\text{m}}14^{\text{s}}$ по звездным часам, имеющим поправку — $3^{\text{m}}19^{\text{s}}$. При данных условиях поправка за рефракцию была $1'3''$. Каковы α и δ планеты? Широта обсерватории $43^{\circ}19'1''$. (ВВ)

186. Воспользовавшись второй формулой, данной в ответе к задаче 215, вывести выражение для производной от склонения Солнца по времени и с его помощью определить, насколько удлиняется продолжительность полярного дня на полюсе благодаря рефракции ($35'$)? *Указание:* Учесть, что долгота Солнца L за сутки меняется приблизительно на 1° , а $\sin \varepsilon = 0,4$. (Паренаго.)

187. По таблицам рефракции Радо рефракция находится по формуле $\rho = \rho_0 + \rho_0 (A + B)$. В таблицах дана средняя рефракция ρ_0 по аргументу зенитного расстояния z через каждые $10'$ (для z от 42° до 80°), температурный коэффициент A по аргументу t (в градусах Цельсия) и барометрический коэффициент B по аргументу b (в миллиметрах). Измеренное зенитное расстояние $z = 53^{\circ}48'33'',5$ исправить по этой формуле за рефракцию при $t = +18^{\circ},4$ и $b = 746,7$. В таблицах дано для $z = 53^{\circ}40'$ $\rho = 1'25'',55$, приращение ее на $8'33'',5$ равно $0'',42$. $A = -0,0660$. $B = -0,0175$.

188. Вывести формулу рефракции $r = 58'',2 \operatorname{tg} z$, предполагая, что плоская Земля покрыта слоем атмосферы постоянной толщины и плотности. Воспользоваться рисунком 10, на котором KL — поверхность Земли, AA — граница атмосферы, а z — наблюдаемое зенитное расстояние светила S . Величина коэффициента преломления воздуха $n = 1,0002825$ (при температуре $+10^\circ \text{C}$ и нормальном атмосферном давлении), $\sin 1'' = 1 : 206\,265$.

VI. ВИДИМОЕ ДВИЖЕНИЕ СОЛНЦА

I

Центр Солнца в течение года перемещается по эклиптике, наклоненной под углом $\varepsilon = 23^\circ 27'$ к небесному экватору. Вследствие притяжения Земли другими планетами этот угол с течением времени изменяется, но в очень небольших пределах и крайне медленно.

22 марта Солнце пересекает небесный экватор, поднимаясь в северное полушарие. В этот момент центр Солнца находится в точке весеннего равноденствия (рис. 2 на стр. 17). Примерно через четверть года, именно 22 июня, Солнце занимает самое высокое положение над экватором — это день летнего солнцестояния. 23 сентября Солнце приходит в точку осеннего равноденствия и 22 декабря ниже всего опускается под небесный экватор (в южное полушарие неба) — это день зимнего солнцестояния.

ПЕРВЫЙ КОНЦЕНТР

189. Когда зенитное расстояние Солнца равно 90° ? Когда его азимут равен 0° ?

190. За какое время Солнце, вследствие своего годового движения по эклиптике, переместится на величину своего диаметра?

191. Чему равны долгота и широта Солнца 22 июня и 22 декабря?

192. Какова долгота Солнца 22 сентября? 1 октября? 1 января?

193. Пользуясь звездной картой с нанесенной на ней эклиптической, указать (приблизительно) точку, в которой Солнце находится сегодня; в которой оно будет находиться через месяц.

194. Чему равны прямое восхождение и склонение Солнца 22 марта и 23 сентября?

195. Каковы прямое восхождение и склонение Солнца 22 июня? Чему они равны 22 декабря?

196. Чему равны долгота и широта Солнца в те моменты, когда его прямое восхождение составляет 6 и 12 часов?

197. В какие дни года (приблизительно) прямое восхождение Солнца выражается четным числом часов (2 часа, 4 часа и т. д.)?

198. Чему равна полуденная высота Солнца в Москве ($\varphi = 55^{\circ}45'$) в день летнего солнцестояния?

199. В устье Беломорско-Балтийского канала высота полюса мира составляет $64^{\circ}33'$. На какой высоте бывает там Солнце в полдень 22 декабря?

200. Какова высота Солнца в меридиане в день летнего солнцестояния в Ленинграде ($\varphi = 59^{\circ}57'$); в Ташкенте ($\varphi = 41^{\circ}20'$)? Под широтой $+23^{\circ}27'$? Под широтой $+66^{\circ}33'$? То же для зимнего солнцестояния. Чем замечательны и как называются два последние круга широты?

201. Определить наибольшую полуденную высоту, на которую может подняться Солнце в вашем городе летом. *Указание:* Взять склонение Солнца из астрономического календаря.

202. Какова высота полюса мира в том месте на Земле, где 22 июня центр Солнца в полночь находится точно на горизонте, в предположении, что рефракции нет?

203. Как глубоко опускается центр Солнца под горизонт в полночь 22 июня в Архангельске ($\varphi = 64^{\circ}35'$)?

204. На какой высоте видно Солнце на Южном полюсе 22 декабря?

205. Какова высота полюса в том месте Земли, где высота центра Солнца в полдень 22 июня равна $69^{\circ}38'$? Какова высота Солнца в том же месте в полдень 22 декабря?

206. 23 сентября тень отвесно стоящего стержня в полдень составила 0,731 от его высоты. Определить географическую широту местности без помощи астрономического календаря. (ВВ)

207. Тень столба в полдень в Москве ($\varphi = 55^{\circ}45'$) оказалась равной 0,854 высоты столба. В какой день года произведено это наблюдение? *Указание:* Найти отсюда склонение Солнца и по астрономическому календарю, звездной карте или глобусу найти соответствующую долготу его, по которой и установить день года. (ВВ)

208. В котором часу по звездному времени и на какой высоте кульминирует Солнце в Симферополе ($\varphi = 45^\circ$), 23 сентября? (ВВ)

209. Когда на тропике Козерога отвесно стоящий столб в солнечный день не отбрасывает тени? (ВВ)

210. Около 1100 г. до нашей эры китайские астрономы нашли, что в день летнего солнцестояния высота Солнца в полдень равнялась $79^\circ 7'$, а в день зимнего солнцестояния $31^\circ 19'$ (к югу от зенита).

Под какой широтой было сделано наблюдение? Каково было тогда наклонение эклиптики к экватору?

211. Когда прямое восхождение и когда склонение Солнца изменяются быстрее всего и когда медленнее всего?

212. Каковы приблизительно астрономические долготы Солнца в перигее и в апогее, если его движение по эклиптике считать равномерным? *Указание:* Даны прохождения Солнца через перигей и апогей — 3 января и 3 июля.

213. Ежегодно одного ли и того же числа в марте Солнце проходит через точку весеннего равноденствия? Если нет, то почему, и в каких пределах может измениться эта дата? *Указание:* Вспомнить устройство календаря.

214. Остается ли на каждый год эфемерида Солнца одной и той же? В каких пределах она может быть ошибочна? (В данном случае под эфемеридой имеется в виду таблица, содержащая вычисленные значения прямого восхождения и склонения Солнца в гринвичский полдень или полночь каждого дня данного года.)

215. Вывести, пользуясь формулой косинуса для сторон сферического треугольника, формулу, связывающую долготу Солнца L с его прямым восхождением α и его склонением δ . Предварительно сделать чертеж. Прodelать тот же вывод, пользуясь формулой синусов.

216. Доказать, что экваториальные координаты Солнца всегда связаны соотношением $\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} \varepsilon \sin \alpha$, где ε — наклон эклиптики к экватору.

217. Координаты северного полюса средней линии Млечного Пути, рассматриваемой как большой круг сферы, составляют $\alpha = 12^h 40^m$, $\delta = +28^\circ$. Когда и в каком месте Солнце, при своем годичном движении по эклиптике, пересекает Млечный Путь? *Указание:* Найти эклиптические координаты полюса Млечного Пути, а затем определить точки его пересечения с эклиптикой.

VII. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ И ДОЛГОТЫ

I

Так как в местностях, находящихся на разных географических меридианах, углы между меридианами и направлением к какому-либо небесному светилу различны, то различны и часовые углы светила. Час солнечных суток определяется часовым углом Солнца. Следовательно, в разных местах час суток или время различно. Поэтому солнечное время, определяемое часовым углом Солнца, называется местным.

Разность географических долгот двух мест на Земле равна разности их местных времен. Долгота отсчитывается обычно от гринвичского меридиана и выражается в часовой мере. Если долгота западная, она обозначается буквой W , если восточная — буквой E .

Всякие часы в любой момент, строго говоря, показывают время не вполне точно. Задача определения точного времени сводится поэтому к определению «поправки часов». Поправка часов есть величина, которую надо прибавить с ее знаком к их показанию, чтобы получить верное время. Изменение поправки часов за одни сутки (последующая поправка минус предыдущая) называется суточным ходом часов ω . Если он достаточно постоянен, то поправка часов в некоторый момент t может быть вычислена по формуле

$$u = u_0 + \omega (t - t_0),$$

где u_0 — известная нам поправка часов в момент t_0 , ближайший предшествующий моменту t . Если часы с маятником, то период его колебаний T выразится формулой

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

где l — так называемая приведенная длина маятника, а g — ускорение силы тяжести в данной местности.

Разность географических долгот определяется сравнением часов, идущих по местному времени каждого из двух меридианов. В прежнее время долготу определяли, отмечая, например, по местному времени какую-либо фазу затмения Луны, изо всех мест Земли видимого одновременно, и момент которой вычислялся заранее по

гринвичскому времени. Теперь для определения долго-
ты пользуются радиосигналами точного времени.

Звездными сутками называется промежуток времени между двумя последовательными одноименными (на-
пример, верхними) кульминациями точки весеннего рав-
ноденствия. Момент ее верхней кульминации принима-
ется за начало звездных суток. Звездное время s изме-
ряется часовым углом точки весеннего равноденствия.

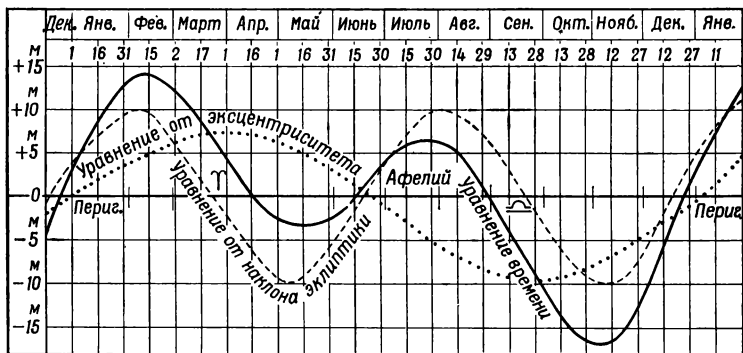


Рис. 11. Изменение величины уравнивания времени в течение года.

Истинными солнечными сутками называется проме-
жуток времени между двумя последовательными верх-
ними (или нижними) кульминациями центра Солнца.
Истинное солнечное время (час этих суток) измеряется
часовым углом центра Солнца. За начало суток удобно
принять полдень, хотя общепринято началом суток счи-
тать полночь. В последнем случае солнечное время рав-
но часовому углу Солнца плюс $12^{\text{ч}}$.

Продолжительность истинных солнечных суток в те-
чение года меняется вследствие неравномерной скорости
движения Солнца по эклиптике, а также благодаря на-
клонению последней к экватору. В силу последней при-
чины проекция на экватор суточного смещения Солнца
по эклиптике в разное время года различна.

Для устранения этих неудобств вводится понятие о
среднем Солнце, т. е. о воображаемой точке, равномерно
движущейся по экватору и завершающей по нему пол-
ный оборот за один тропический год.

Средними солнечными сутками называется промежуток времени между двумя последовательными верхними (или нижними) кульминациями среднего Солнца. Длина таких суток постоянна. Среднее солнечное время измеряется часовым углом среднего Солнца.

Уравнение времени равно среднему времени минус истинное время. Приближенное значение уравнения времени графически представлено на рисунке 11. Точное его значение дается на каждый день в астрономическом календаре на данный год.

Уравнение времени равно α истинного Солнца минус α среднего Солнца. Звездное время в средний полдень, очевидно, есть прямое восхождение среднего Солнца в средний полдень.

Перевод звездного времени s в среднее солнечное m был описан в разделе III. Его можно делать также по формуле

$$m = s - s_0 - (3^m 56^c) \frac{m}{24},$$

а перевод солнечного в звездное — по формуле

$$s = s_0 + m + (3^m 56^c) \frac{m}{24},$$

где s_0 — звездное время в средний полдень (или в полночь, если счет m идет от полуночи), а m выражается в часах. Превращение интервала звездного времени в интервал среднего солнечного времени и обратно точнее делается по таблицам VI и VII, данным в приложении.

Эти таблицы дают как раз величины $m + (3^m 56^c) \frac{m}{24}$ по заданным $s - s_0$, и наоборот.

Все времена, определенные выше, являются местными.

Мировым временем (М. В. или U. T.) называется среднее гринвичское время, считаемое от полуночи.

Поясной (или международный) счет времени условен. Земной шар разбит на 24 часовых пояса, границы которых (за некоторыми исключениями) идут по меридианам, отстоящим друг от друга на 15° . Середина нулевого пояса совпадает с гринвичским меридианом. Середина первого пояса отстоит по долготе от гринвичского на 15° (1^h) к востоку, второго пояса на 30° (2^h) к востоку и т. д. Во всех местностях, лежащих внутри данного пояса, считают время впереди среднего гринвичского на столько целых часов, каков номер пояса. Иначе

говоря, поясное время местности равно среднему местному времени центрального меридиана данного пояса.

Местное среднее (гражданское) время равно поясному времени плюс долгота местности от Гринвича минус число часов, равное номеру пояса n , т. е.

$$m = T_n + \lambda - n.$$

Декретное время равно поясному времени плюс 1 час.

Это время сейчас повсеместно принято в СССР впредь до особого распоряжения правительства.

Линия перемены даты проходит по Тихому океану вблизи 180° долготы от Гринвича между Камчаткой и Аляской. Новая дата, например 1 января 1975 г., прежде всего начинается на этой линии и распространяется к западу. Пересекая эту линию по пути на запад, один день выбрасывают из счета; например, после 5 марта следующий день считают 7 марта. При движении же на восток два дня подряд называют одним и тем же числом.

Определение поправки часов производится многими способами. Например, зная прямое восхождение светила α , наблюдают его кульминацию и момент кульминации отмечают по часам. Часы, правильно идущие по звездному времени, должны в этот момент показывать время $s = \alpha$. Если часы идут по среднему, поясному или декретному времени, то надо рассчитать, когда по этому времени должна быть кульминация, и сравнить с тем, что часы показывали фактически.

II

Простейшим способом проверки часов по Солнцу являются наблюдения с солнечным кольцом проф. С. П. Глазенапа. Отмечают по часам моменты до и после полудня, когда изображение Солнца, даваемое отверстием в кольце, падает на один и тот же штрих шкалы внутри кольца. Полусумма этих моментов дает момент истинного полудня по часам. Верные часы должны были бы показывать в этот момент 12^h + уравнение времени. Более точное определение поправки часов требует учета изменения склонения Солнца за промежуток времени между наблюдениями.

Солнечные часы всегда показывают истинное солнечное время. Указателем их является стержень, установленный параллельно оси мира (т. е. в плоскости мери-

диана под углом к горизонту, равным широте местности). В экваториальных часах тень стержня падает на перпендикулярную к нему поверхность; в горизонтальных часах тень падает на горизонтальную поверхность, а в вертикальных — на вертикальную. На каждой из этих поверхностей заранее радиально чертятся линии (рис. 12), с которыми тень стержня должна совпадать

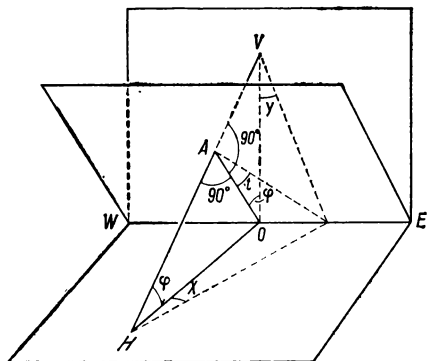


Рис. 12. Комбинированные солнечные часы. H — циферблат горизонтальных, V — вертикальных, A — экваториальных часов, $HA V$ — стержень часов.

в определенные часы истинного времени. Часовые деления образуют с направлением тени в полдень для экваториальных часов углы, равные $\pm n \cdot 15^\circ$, где n — целое число. Для горизонтальных часов эти углы x находятся по формуле

$$\operatorname{tg} x = \sin \varphi \operatorname{tg} t,$$

а для вертикальных по формуле

$$\operatorname{tg} y = \cos \varphi \operatorname{tg} t,$$

где t — соответствующий час истинного времени.

При точных расчетах звездного времени надо брать звездное время в местную полночь по календарю, где это время дается для гринвичской полуночи. Если местность имеет долготу к востоку от Гринвича λ (в часах), то звездное время в местный полдень равно звездному времени в гринвичский полдень — $(3^m 56^s) \frac{\lambda}{24}$. Уравнение времени в местный полдень также отличается от тако-

вого для Гринвича на величину, равную его часовому изменению, умноженному на восточную долготу местности (в часах).

ПЕРВЫЙ КОНЦЕНТР

218. Если бы небо было всегда покрыто облаками, то как бы мы измеряли время?

219. Каково было бы соотношение солнечного времени и звездного, если бы Земля вращалась в направлении, противоположном действительному направлению вращения Земли?

220. Разность долгот двух мест равна разности каких времен — солнечных или звездных?

221. В прежнее время считали нулевым меридианом меридиан острова Ферро, и на некоторых картах долготы отмечаются от Ферро. Ферро лежит к западу от Гринвича на $17^{\circ}40'$. Какова долгота от Гринвича места, которое на карте лежит от Ферро на 50° к востоку? Выразить эту долготу во времени.

222. Долгота Новочеркасска относительно Ленинграда $9^{\circ}48'$. Какова разность местных времен в этих двух городах?

223. Когда в Гринвиче $10^{\text{ч}}17^{\text{м}}14^{\text{с}}$, в некотором пункте $12^{\text{ч}}43^{\text{м}}21^{\text{с}}$. Какова долгота этого пункта?

224. Средний хронометр, поставленный правильно по местному времени в Алма-Ате, привезен в Харьков. Какая у него будет поправка относительно харьковского среднего времени, если долгота Алма-Аты $5^{\text{ч}}7^{\text{м}}46^{\text{с}}$, а Харькова $2^{\text{ч}}24^{\text{м}}56^{\text{с}}$?

225. В Харькове полдень, а в Казани в то же время часы показывают $12^{\text{ч}}46^{\text{м}}$. Какова долгота Казани от Гринвича? (Долгота Харькова от Гринвича $2^{\text{ч}}25^{\text{м}}$.)

226. Долгота первого пункта от Гринвича $37^{\circ}34'$ к востоку. На какой долготе от Гринвича находится второй пункт, где часы по звездному времени показывают $8^{\text{ч}}45^{\text{м}}$ в то время, когда в первом $2^{\text{ч}}30^{\text{м}}$?

227. Из Москвы по телеграфу в Горький передали сигнал в $9^{\text{ч}}8^{\text{м}}32^{\text{с}}$ местного звездного времени. В Горьком сигнал был получен в $9^{\text{ч}}34^{\text{м}}16^{\text{с}}$ местного звездного времени. Какова разность долгот этих мест в градусной мере?

228. В Орле по часам, идущим по киевскому звездному времени, наблюдалась в $4^{\text{ч}}48^{\text{м}}$ верхняя кульминация Капеллы ($\alpha = 5^{\text{ч}}10^{\text{м}}$). Какова разность долгот этих городов?

229. В одном из пунктов Средней Азии наблюдалась верхняя кульминация Капеллы (α Возничего) в $2^{\text{ч}}56^{\text{м}}$ по хронометру, показывающему звездное пулковское время. Прямое восхождение Капеллы $5^{\text{ч}}10^{\text{м}}$. Какова долгота места наблюдения?

230. В момент кульминации звезды α Ориона ($\alpha = 5^{\text{ч}}51^{\text{м}}$) часы, идущие точно по звездному гринвичскому времени, показывают $15^{\text{ч}}9^{\text{м}}$; определить долготу Гринвича относительно данного места.

231. В момент кульминации α Волопаса ($\alpha = 14^{\text{ч}}12^{\text{м}}$) в данном месте звездные часы, привезенные из Пулкова и поставленные точно по пулковскому меридиану, показали $6^{\text{ч}}25^{\text{м}}$. Какова долгота места наблюдения от Пулкова?

232. Путешественники заметили, что по местному времени затмение Луны началось в $5^{\text{ч}}13^{\text{м}}$, тогда как по астрономическому календарю это затмение должно было состояться в $3^{\text{ч}}51^{\text{м}}$ по гринвичскому времени. Какова их долгота?

233. Затмение Луны 2 апреля 1950 г. началось в $19^{\text{ч}}3^{\text{м}}$ по мировому времени. В котором часу оно началось в Алма-Ате по поясному времени? По времени, переведенному на час вперед (декретному)? По местному времени? *Указание:* Долгота Алма-Аты $5^{\text{ч}}8^{\text{м}}$ к востоку от Гринвича. Алма-Ата находится в V поясе.

234. Экспедиция О. Ю. Шмидта высадилась на лед с затонувшего «Челюскина» 13 февраля 1934 г. 15 февраля Кренкель подал радиограмму: «Второй день челюскинцы живут на льду. Ночью прояснило. По звездам определили свое местонахождение: $67^{\circ}17'$ северной широты, $172^{\circ}51'$ западной долготы...». Сколько должны были показывать часы в лагере (по местному времени), когда Кренкель принимал московские сигналы времени, подаваемые в 12 часов дня по времени III пояса? Каково было зенитное расстояние полюса? (Набоков и Воронцов-Вельяминов.)

235. 14 июня по наблюдениям на судне, произведенным с секстаном, кульминация Солнца произошла в $8^{\text{ч}}23^{\text{м}}$ по хронометру, показывающему гринвичское звездное время. Кульминация произошла при зенитном расстоянии $22^{\circ}2'$ (рефракция учтена). Определить долготу и широту судна, если по морскому астрономическому ежегоднику в этот день и час координаты Солнца были $\alpha = 5^{\text{ч}}26^{\text{м}}$, $\delta = +18^{\circ}25'$.

236. Капитан корабля измерил в истинный полдень 22 декабря зенитное расстояние Солнца и нашел его равным $66^{\circ}33'$. Хронометр, идущий по гринвичскому времени, показал в момент наблюдения $11^{\text{ч}}54^{\text{м}}$ утра. Уравнение времени в этот день было — $9^{\text{м}}$. Показать на земном глобусе место, где находился корабль.

237. Путешественник прибыл в некоторый ненаселенный пункт Крайнего Севера, имея в своем распоряжении таблицы координат (α и δ) звезд, таблицы затмений спутников Юпитера, вычисленные для гринвичского времени на текущий год, теодолит и звездные часы, случайно остановившиеся в дороге, но исправные. Описать порядок наблюдений и вычислений, которые путешественник должен произвести, чтобы определить свою широту и долготу. (Щербаков.)

238. Поперечник некоторого города равен 20 км. На сколько истинный полдень на его восточной окраине наступает раньше, чем на западной окраине, если его широта $55^{\circ}45'$? (ВВ)

239. В полдень 3 октября поправка часов была $u = -26^{\text{м}}34^{\text{с}},67$. Средний суточный ход часов $-1^{\text{с}},61$. Найти поправку часов в $18^{\text{ч}}$ и в $6^{\text{ч}}$ того же числа.

240. Часы 5 января показывали $9^{\text{ч}}18^{\text{м}}13^{\text{с}},4$ утра; в полдень 1 января поправка их была $-2^{\text{м}}6^{\text{с}},5$, суточный ход $+2^{\text{с}},9$. Найти точное время в указанный момент 5 января.

241. В полдень 3 февраля поправка часов была $+6^{\text{м}}14^{\text{с}}$. Суточный ход часов $-11^{\text{с}}$. Определить поправку часов в полдень 1 и в полдень 6 февраля. (ВВ)

242. Поправка часов, определенная с помощью солнечного кольца,

15 июля в $12^{\text{ч}}$ была $9^{\text{м}} 1^{\text{с}}$,

18 июля в $12^{\text{ч}}$ » $8^{\text{м}}40^{\text{с}}$,

20 июля в $12^{\text{ч}}$ » $8^{\text{м}}24^{\text{с}}$.

Определить средний суточный ход часов в период с 15 по 20 июля. (ВВ)

243. В часовом журнале записаны поправки часов, определенные по радиосигналам точного времени:

9 сентября в $6^{\text{ч}}$ $-2^{\text{м}}14^{\text{с}}$,

10 сентября в $6^{\text{ч}}$ $-2^{\text{м}}21^{\text{с}}$,

14 сентября в $6^{\text{ч}}$ $-2^{\text{м}}49^{\text{с}}$.

Определить поправку часов для $6^{\text{ч}}$ 12 сентября, для $18^{\text{ч}}$ 12 сентября и для $6^{\text{ч}}$ 16 сентября. (ВВ)

244. На сколько минут и секунд часы с секундным маятником, идущие правильно в Москве, отставали бы за сутки на экваторе? Ускорение силы тяжести в Москве $g = 9,8156 \text{ м/сек}^2$, на экваторе $g_0 = 9,7810 \text{ м/сек}^2$.

245. На сколько звездные часы опережают часы, идущие по среднему солнечному времени, за $10^{\text{ч}}30^{\text{м}}$ среднего солнечного времени?

246. Какова будет длина звездных суток, выраженная в среднем солнечном времени?

247. Перевести интервал $15^{\text{ч}}11^{\text{м}}50^{\text{с}},8$ звездного времени в интервал среднего времени с помощью таблицы VII или без нее.

248. Превратить по таблице интервал $5^{\text{ч}}32^{\text{м}}15^{\text{с}},43$ звездного времени в интервал среднего солнечного времени.

249. С помощью таблиц выразить интервал $10^{\text{ч}}12^{\text{м}}5^{\text{с}},32$ среднего времени в звездном времени. То же для $21^{\text{ч}}22^{\text{м}}43^{\text{с}},76$ среднего времени.

250. Превратить интервал $2^{\text{ч}}23^{\text{м}}24^{\text{с}},92$ среднего солнечного времени в интервал звездного времени.

251. Выразить 1465 звездных суток в средних солнечных сутках.

252. В котором часу среднего местного времени будет начало звездных суток 1 июля? 20 августа? 5 ноября? (Подсчитать приближенно.)

253. Подсчитать приближенно звездное время в среднюю полночь 1 мая и в полночь 19 июля.

254. Найти звездное время 7 июня в $10^{\text{ч}}0^{\text{м}}$ утра среднего местного времени.

255. Найти звездное время 27 декабря в $3^{\text{ч}}0^{\text{м}}$ вечера среднего местного времени.

256. Найти звездное время 10 мая в $10^{\text{ч}}0^{\text{м}}$ вечера среднего местного времени.

257. Найти поясное время в Харькове ($\lambda = 2^{\text{ч}}24^{\text{м}}56^{\text{с}}$, II пояс) для момента $18^{\text{ч}}24^{\text{м}}30^{\text{с}}$ местного среднего времени.

258. Найти гринвичское время, соответствующее в Алма-Ате поясному $12^{\text{ч}}10^{\text{м}}30^{\text{с}}$. (Алма-Ата находится в V поясе.)

259. В $18^{\text{ч}}46^{\text{м}}23^{\text{с}}$ мирового времени 1 мая какое поясное время в Омске (V пояс) и декретное в Якутске (IX пояс), равное его поясному времени плюс один час?

260. В Казани часы, идущие по поясному времени, показывают 25 минут пятого. Сколько в этот момент должны показывать часы по гринвичскому времени? Сколько по местному среднему казанскому времени? Долгота Казани $3^{\text{ч}}16^{\text{м}}$ к востоку от Гринвича (Казань находится в III поясе).

261. Пользуясь географической картой или земным глобусом, определить, сколько времени должны показывать часы в гринвичский полдень по поясному времени и по местному среднему времени в городах: Ленинграде, Москве, Иркутске, Казани, Киеве, Омске, Куйбышеве, Владивостоке.

262. Определить при помощи географической карты, в каком поясе находится ваш город. Определить, сколько должны показывать часы у вас сегодня в гринвичский полдень по поясному времени, по среднему времени и по истинному солнечному времени.

263. Когда по поясному времени Казани, т. е. по времени III пояса, 22 июня в этом городе (его долгота $3^{\text{ч}}16^{\text{м}}29^{\text{с}}$) произойдет кульминация Солнца, если в этот день уравнение времени равно $+1^{\text{м}}20^{\text{с}}$? (ВВ)

264. 15 июля солнечные часы показывают 4 часа дня. Какой час в этот момент должны показывать часы, идущие по местному среднему времени? по звездному?

265. Найти истинное местное время, соответствующее $13^{\text{ч}}15^{\text{м}}28^{\text{с}},5$ среднего местного времени в Москве 21 января 1931 г. Уравнение времени в этот момент $+11^{\text{м}}43^{\text{с}},97$.

266. Солнечные часы 8 октября в Харькове показывали $3^{\text{ч}}0^{\text{м}}$ дня. Уравнение времени в этот день было $-12^{\text{м}}$. Какой это был час по декретному харьковскому времени? (ВВ)

267. Полное затмение Солнца должно было произойти в пункте с долготой $\lambda = 2^{\text{ч}}30^{\text{м}}$ в $9^{\text{ч}}27^{\text{м}}$ гринвичского (или мирового) времени. В данный день уравнение времени было $-9^{\text{м}}$. Произошло ли затмение до момента истинного полудня? (ВВ)

268. 15 августа, когда кульминировал Арктур ($\alpha = 14^{\text{ч}}12^{\text{м}}$), по звездным часам обсерватории было $15^{\text{ч}}18^{\text{м}}$. Могло ли это быть, а если нет, то чем же объяснить расхождение между наблюдениями и теорией? (ВВ)

269. Звезда γ Малой Медведицы ($\alpha = 15^{\text{ч}}20^{\text{м}}49^{\text{с}}$) наблюдалась в нижней кульминации, причем звездные часы в это время показывали $3^{\text{ч}}39^{\text{м}}33^{\text{с}}$. Какова поправка часов?

270. В момент верхней кульминации β Большой Медведицы ($\alpha = 10^{\text{ч}}55^{\text{м}}48^{\text{с}}$) звездные часы показывали $10^{\text{ч}}55^{\text{м}}32^{\text{с}}$. Определить поправку часов. Указать, когда по этим неисправленным часам будет кульминация α Большой Медведицы ($\alpha = 10^{\text{ч}}57^{\text{м}}34^{\text{с}}$).

271. Кульминация Прочиона ($\alpha = 7^{\text{ч}}36^{\text{м}}$) в пункте с долготой $\lambda = 2^{\text{ч}}30^{\text{м}}$ произошла в ночь с 30 на 31 декабря в $1^{\text{ч}}15^{\text{м}}$ по часам, идущим, как предполагается, по декретному времени данного пункта. Какова их поправка? (ВВ)

272. 26 сентября Солнце в пункте с долготой $\lambda = 2^{\text{ч}}30^{\text{м}}$ восходит по среднему местному времени в $5^{\text{ч}}51^{\text{м}}$ утра, а заходит в $5^{\text{ч}}51^{\text{м}}$ вечера. Чему равно в этот день уравнение времени?

273. Каково различие в продолжительности времен от восхода Солнца до 12 часов дня среднего времени и от 12 часов дня среднего времени до захода Солнца в день 1 ноября, когда уравнение времени равно $-16^{\text{м}}$?

274. Каково приблизительно прямое восхождение Солнца в день годовщины Великой Октябрьской социалистической революции 7 ноября, если в этот день уравнение времени равно $-16^{\text{м}}$?

275. Если при кругосветном путешествии в направлении на запад теряют одни солнечные сутки, то теряют ли также и звездные сутки?

276. Чему равно наибольшее возможное число воскresений в феврале, для кого и при каких условиях?

277. Пароход, покинув Владивосток в субботу 6 ноября, прибыл в Сан-Франциско в среду 23 ноября. Сколько суток он был в пути?

278. Корабль, покинувший Сан-Франциско утром в среду 12 октября, прибыл во Владивосток ровно через 16 суток. Какого числа месяца и в какой день недели он прибыл?

ВТОРОЙ КОНЦЕНТР

279. На сколько звездные сутки на Юпитере короче солнечных, если звездный период вращения Юпитера вокруг оси $9^{\text{ч}}50^{\text{м}}30^{\text{с}}$, а продолжительность его обращения около Солнца 4332,6 средних солнечных суток? Разницу выразить в звездном юпитеровом времени, принимая для его суток деление на 24 часа. (ВВ)

280. Как часто совпадают удары звездного и среднего хронометров, отбивающих полусекунды?

281. Сколько раз в течение средних солнечных суток секундный удар звездного хронометра совпадает с ударом хронометра, идущего по среднему солнечному времени, если в начале суток удары их совпадали?

282. Средний хронометр сравнен со звездным хронометром, поправка которого была $+0^m18^s,4$. Определить поправку среднего хронометра, если в моменты совпадения ударов хронометры показывали:

звездный	средний
$5^h 5^m 33^s, 5$	$12^h 36^m 50^s, 0$
$5 \quad 8 \quad 34, 0$	$12 \quad 39 \quad 50, 0$

и если звездное время в полночь было $16^h25^m50^s,48$.

283. За сколько времени звездные часы уходят вперед против средних на 1 секунду?

284. Доказать, что в любом месте существует соотношение

$$s - \alpha + \eta - t = 0,$$

где s — звездное время, α — прямое восхождение Солнца, η — уравнение времени и t — среднее время, считаемое от полудня.

285. Найти точно среднее местное солнечное время, соответствующее $15^h33^m15^s,71$ звездного времени на меридиане $\lambda = 2^h30^m39^s,60$ 2 июля с помощью таблицы II.

286. С помощью астрономического календаря определить звездное время в $3^h15^m4^s$ среднего московского местного времени 15 июля текущего года.

287. 11 февраля по поясному времени Солнце взошло в 7^h6^m , зашло в 16^h24^m . Чему равна разница между поясным и средним местным временем данного места? *Указание:* 11 февраля — максимум уравнения времени $+14^m$.

288. Часы обсерватории, имеющей восточную долготу $22^{\circ},75$, показывают среднее гринвичское время. Каково показание этих часов в момент кульминации западного края Солнца, если в этот момент уравнение времени равно $+6^m2^s,88$, а продолжительность прохождения солнечного диаметра через меридиан равна $2^m21^s,24$? (ВВ)

289. В Москве ($\varphi = +55^{\circ}45'18''$) 15 мая зенитное расстояние центра Солнца по измерениям со всеми поправками равнялось $65^{\circ}13'20''$, в этот момент средний хронометр показывал $16^h51^m7^s$, склонение центра Солнца

$+18^{\circ}50'33''$. Определить поправку хронометра относительно среднего местного времени, пользуясь формулой $\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t$. Уравнение времени было $-3^m47^s,5$.

290. Изображение Солнца пересекло один и тот же штрих солнечного кольца 29 июня в $9^h35^m5^s$ и в $14^h29^m41^s$ по часам, идущим по местному времени. Определить поправку часов, если уравнение времени равно $+3^m10^s$.

291. 15 марта 1935 г. в некотором пункте Солнце наблюдалось на одном и том же штрихе солнечного кольца Глазенапа до и после полудня в следующие моменты: $9^h55^m26^s$ и $16^h18^m40^s$. Уравнение времени в местный средний полдень было $+9^m34^s$. Определить поправку часов на местное среднее солнечное время. Определить ее относительно поясного времени (пункт находится во II поясе, принять $\lambda = 2^h1^m29^s$). Определить ее на декретное время. (ВВ)

292. В пункте с $\lambda = 2^h1^m1^s$ (II пояс) 1 октября 1928 г. производились наблюдения с солнечным кольцом Глазенапа. Отмечены по часам моменты до и после полудня, когда солнечный зайчик одинаковым образом пересекал один и тот же штрих шкалы:

№ штриха

20	$9^h 13^m 12^s$	$4^h 27^m 22^s$
20—21	16 30	24 16
21	19 52	20 33
21—22	23 51	16 50

Уравнение времени в полдень было -10^m17^s . Определить поправку часов на среднее местное время и на поясное время.

293. 5 июля 1935 г. близ Ленинграда ($\varphi = 59^{\circ}40',0$) наблюдалось Солнце с помощью солнечного кольца Глазенапа:

№ штриха	До полудня	После полудня
33—34	$51^m 34^s, 0$	$17^h 12^m 8^s, 0$
34	53 56, 4	9 45, 2
34—35	56 18, 4	7 26, 0
35	58 36, 0	5 7, 2
35—36	$9^h 0 48, 4$	2 51, 6
36	3 18, 0	17 0 26, 8
36—37	5 30, 8	16 58 4, 8
37	7 50, 0	55 40, 0
37—38	9 10 21, 2	16 53 20, 8

Уравнение времени равно $+4^m 8^s,0$. Поправка к наблюденному моменту полудня за изменение склонения Солнца в течение наблюдений:

$$\Delta M = -A\theta \operatorname{tg} \varphi + B\theta \operatorname{tg} \delta, \lg \operatorname{tg} \delta = 9,6249.$$

Часовое изменение склонения θ . По календарю в этот день $\lg \theta = 1,1259_n$, $\lg A = 9,4891$, $\lg B = 9,1850$. Определить поправку часов на среднее местное, поясное и декретное время.

294. В астрономическом календаре напечатано:

Звездное время в средний полдень 21 марта $23^h 56^m 5^s,87$; звездное время в средний полдень 22 марта $0^h 0^m 2^s,42$.

Определить приблизительно среднее время того момента, когда среднее Солнце прошло через точку весеннего равноденствия.

295. Почему по среднему времени послеполуденные части дня начинают удлиняться примерно с 8 декабря, за две недели до зимнего солнцестояния?

296. Как изменилась бы (качественно) амплитуда уравнения времени, если бы наклон эклиптики к экватору возрос до 30° ? Если бы он возрос до 90° ? Эксцентриситет земной орбиты принять равным нулю. (ВВ)

297. Каковы пределы изменения уравнения времени на Марсе — больше или меньше, чем на Земле? Наклон оси Марса к плоскости его орбиты 65° , эксцентриситет орбиты 0,093 (эксцентриситет земной орбиты 0,017). (ВВ)

298. На основании известных данных об орбите Марса скажите, существует ли там надобность в среднем солнечном времени? (ВВ)

299. Рассчитать циферблат горизонтальных солнечных часов для Архангельска ($\varphi = 64^\circ 35'$) и для Самарканда ($\varphi = 39^\circ 40'$) и сравнить результаты. (ВВ)

300. Рассчитать циферблат горизонтальных солнечных часов для вашего города, вычислив углы, которые тень указателя должна образовывать с полуденной линией в 1 час, 2 часа, 3 часа и т. д. дня, в 11 часов, 10 часов, 9 часов и т. д. утра.

301. Доказать, что циферблат вертикальных солнечных часов является проекцией циферблата экваториальных часов на вертикальную плоскость. (ВВ)

302. Рассчитать циферблат вертикальных солнечных часов для Иркутска ($\varphi = 52^\circ 16'$) и для Ялты ($\varphi = 44^\circ 30'$). (ВВ)

VIII. КАЛЕНДАРЬ

I

Календари бывают *солнечные, лунные и лунно-солнечные*. В основе их лежат следующие периоды:

Тропический год = $365^{\text{д}}5^{\text{ч}}48^{\text{м}}46^{\text{с}}$, ... = 365,24220 ...
средн. солн. суток.

Синодический месяц = $29^{\text{д}}12^{\text{ч}}44^{\text{м}}3^{\text{с}}$, ... = 29,53059...
средн. солн. суток.

Каждый календарный месяц и год должен, однако, состоять из целого числа суток. Для согласования с приведенными периодами в солнечном и лунном календарях в некоторые определенные годы вставляется лишний день, а в лунно-солнечном — лишние дни и месяцы.

Древнеегипетский календарь содержал в каждом без исключения году 365 суток.

В *юлианском календаре* (старом стиле) три года подряд принимаются продолжительностью в 365 суток, а четвертый (номер которого без остатка делится на 4) в 366 суток (високосный год). Этот календарь впервые был введен в 45 г. до н. э.

Григорианский календарь (новый стиль), введенный в 1582 г., имеет такую же систему високоса, как и юлианский, за исключением того, что годы целых столетий (например, 1900), у которых число сотен не делится без остатка на 4, считаются не високосными, а простыми. В 1582 г. в этом более точном календаре день 5 октября, следовавший за 4 октября по старому стилю, был переименован в 15 октября, так как к этому времени старый стиль отстал от нового счета времени на 10 суток. В дальнейшем разница в числах по новому и старому стилям стала расти и сейчас равна 13.

У нас новый стиль введен после Великой Октябрьской социалистической революции — 1 февраля 1918 г.

Начало счета лет (*эра*) даже при пользовании одним и тем же календарем в разных странах бывает различным; вообще говоря, оно произвольно. При решении задач настоящего раздела полезна будет таблица III в приложении.

ПЕРВЫЙ КОНЦЕНТР

303. Почему в декрете Совнаркома (з 1918 г.) о введении в РСФСР григорианского календаря сказано только об изменении чисел, а названия дней недели не нужно

было изменять? (Каменьщиков.) *Указание:* Объяснить, почему в юлианском и григорианском календарях при разнице в числах нет и не было никогда разницы в названиях дней недели?

304. Сколько суток содержал 1918 год в Российской Советской Федеративной Социалистической Республике? (Каменьщиков.)

305. Можно ли создать календарь, абсолютно точный в течение неограниченного промежутка времени?

306. Почему день весеннего равноденствия приходится не всегда точно на 22 марта?

307. В некотором году весеннее равноденствие произошло 21 марта в 18^ч58^м гринвичского времени. Указать даты и моменты весеннего равноденствия последующих лет. (ВВ)

308. Какова ошибка египетского календаря, по которому год равнялся 365 суткам? Когда придется весеннее равноденствие по этому календарю через 100 лет? Когда весеннее равноденствие придется на осень (приблизительно)?

309. Какой был день по новому стилю, когда по старому стилю считалось 15 февраля 1900 г.? 25 февраля 1900 г.? 5 марта 1900 г.?

310. Когда по современному календарю исполнилось столетие со дня восстания декабристов (14 декабря 1825 г. старого стиля)?

311. Ньютон родился 25 декабря 1642 г. по старому стилю. Какое это было число по новому стилю?

312. Какое число по новому стилю соответствует 28 февраля 2445 г. юлианского календаря?

313. Через сколько времени летнее солнцестояние по юлианскому календарю придется на 21 марта?

314. Какова средняя продолжительность «григорианского года» и какова его неточность?

315. Каких размеров достигнет ошибка григорианского календаря через 100, через 500 и через 1000 лет? Когда будет наступать весеннее равноденствие через эти промежутки времени?

316. Астроном Медлер (1794—1874) в Юрьеве (ныне г. Тарту) предложил ввести календарь, по которому следует в каждые 128 лет принять 31 високосный год, т. е. каждые 128 лет пропускать один високос. Определить продолжительность года в календаре Медлера и величину ошибки его летоисчисления.

317. Какова неточность мусульманского лунного календаря, содержащего на каждые 30 лет 19 лет по 354 дня и 11 лет по 355 дней?

318. В XI в. в Персии был введен календарь, в основу которого положен цикл в 33 года; в этом цикле считалось 25 простых и 8 високосных годов. Определить продолжительность года и ошибку этого календаря.

319. Древний афинский астроном Метон (в V в. до н. э.) открыл период, по истечении которого новолуния и полнолуния приходятся опять на прежние числа года солнечного календаря. Определить, какова была продолжительность этого, так называемого «метонова цикла» или «круга Луны», зная среднюю продолжительность синодического месяца и тропического года.

320. Ведя счет лет от Великой Октябрьской социалистической революции, указать, какой будет год 1 ноября 1979 г. (ВВ)

321. В каком году вы родились, если вести счет лет со дня Великой Октябрьской социалистической революции? В каком году по этому счету лет родился ваш отец? (ВВ)

322. В феврале 1920 г. было пять воскресных дней. Когда был такой же случай раньше?

323. 1353 год мусульманской эры начался 16 апреля 1934 г. Какой год, согласно этой эре и мусульманскому календарю, был 16 апреля 1974 г.? (ВВ)

324. Известно, что 1227 год мусульманской эры начался 20 июля 1860 г. и что 34 мусульманских лунных года равны нашим 33 годам. В каком году нашей эры числовое название года нашей эры совпадает с таковым мусульманского календаря? (ВВ)

IX. ВОСХОД И ЗАХОД СВЕТИЛ

I

Задачи первого концентрира не требуют пояснений.

II

В местности с широтой φ зенитное расстояние z светила, имеющего часовой угол t и склонение δ , определяется формулой

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t. \quad (1)$$

В момент восхода и захода светила его $z = 90^\circ$, и $\cos z = 0$, в силу чего из предыдущей формулы получаем

$$\cos t = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta, \quad (2)$$

что дает часовой угол t , который для восхода надо брать со знаком минус и для захода со знаком плюс [уравнение (2) имеет два корня: $+t$ и $-t$]. Звездное время восхода и захода $s = t + \alpha$, где α — прямое восхождение светила. В случае Солнца t , очевидно, представляет непосредственно местное истинное солнечное время (считаемое от полудня) восхода и захода. Чтобы получить среднее местное время, надо к t прибавить уравнение времени на данный день.

Из формулы преобразования горизонтальных координат в экваториальные

$$\sin \delta = \sin \varphi \cos z - \cos \varphi \sin z \cos A \quad (3)$$

при $z = 90^\circ$ получаем

$$\cos A = -\frac{\sin \delta}{\cos \varphi}, \quad (4)$$

что дает азимут точек восхода и захода. Восходу соответствует $A > 180^\circ$ [уравнение (4) имеет два решения].

Рефракция поднимает светило над горизонтом. Так как около горизонта рефракция равна $35'$, то в момент видимого восхода и захода светила его истинное зенитное расстояние равно не 90° , а $90^\circ 35'$. В соответствии с этим формулы (2) и (4) усложняются и, например, из формулы (1) мы получаем

$$\cos t = \cos 90^\circ 35' \sec \varphi \sec \delta - \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta.$$

Для Луны и Солнца моментом восхода и захода считается момент восхода и захода их верхнего края. Так как угловой радиус Луны и Солнца равен $16'$, то в эти моменты зенитное расстояние центра этих светил (к которым и относится значение δ , даваемое в астрономическом календаре) равно $90^\circ 35' + 16' = 90^\circ 51'$ (с учетом рефракции). Заменяя $\cos 90^\circ 51'$ его значением $-0,0148$, получаем:

$$\cos t = -(0,0148 \sec \varphi \sec \delta + \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta). \quad (5)$$

Полагая в формуле (3) $z = 90^\circ 51'$, получим

$$\cos A = \operatorname{tg} \varphi \operatorname{ctg} 90^\circ 51' - \frac{\sin \delta}{\cos \varphi \sin 90^\circ 51'}$$

или

$$\cos A = - 0,0148 \operatorname{tg} \varphi - \frac{\sin \delta}{\cos \varphi}. \quad (6)$$

На моменты восхода и захода Солнца и Луны влияет еще явление так называемого суточного параллакса. Однако для Солнца это требует уменьшения его зенитного расстояния при вычислении всего лишь на 9". Учет этого явления для Солнца нецелесообразен, поскольку рефракция у горизонта известна с меньшей точностью. Для Луны при учете параллакса z должно быть уменьшено еще на 57'. Однако задач на вычисление восхода Луны мы не приводим, ибо вследствие ее быстрого движения склонение Луны приходится интерполировать по таблицам календаря, отдельно для восхода и для захода, и в целом эта задача слишком трудна для начинающих.

ПЕРВЫЙ КОНЦЕНТР

325. Когда в течение суток зенитное расстояние Солнца равно 90°?

326. Может ли звезда взойти на северо-востоке и зайти на северо-западе? а зайти на юго-западе?

327. Светило имеет склонение 0°. Определить его азимуты в моменты восхода и захода.

328. Если звезда взошла в точке северо-востока, то в какой точке горизонта она зайдет? Чему равны азимуты точек ее восхода и захода?

329. Между какими точками горизонта восходят и заходят звезды, видимые над горизонтом менее 12 часов? более 12 часов?

330. В какое время дня 21 сентября восходит комета, прямое восхождение которой 4^ч, а склонение 0°?

331. Каков азимут Солнца в момент его восхода на земном экваторе 22 марта? 22 июня? 23 сентября? 22 декабря?

332. В каких широтах 13 ноября Солнце не восходит, если в этот день его полярное расстояние 108°?

333. Начиная с какой географической параллели, вечерние и утренние астрономические сумерки ночью не сливаются друг с другом? *Указание:* Астрономические сумерки оканчиваются, когда Солнце опускается под горизонт на 18°. Гражданские сумерки оканчиваются, когда Солнце опускается под горизонт на 6°.

334. С какой географической широты начинаются белые ночи (т. е. гражданские сумерки не кончаются)?

335. Даны две звезды, склонения которых равны по величине и противоположны по знаку: доказать, что точка восхода одной из них диаметрально противоположна точке захода другой. (Казаков.)

ВТОРОЙ КОНЦЕНТР

336. Проследить по астрономическому календарю, сколько суток тянется полярная ночь, не освещаемая светом сумерек (гражданских) на Северном полюсе. *Указание:* Рефракцию не учитывать. (ВВ)

337. Где длиннее день 27 августа — в Гринвиче или в Иркутске, если их широты одинаковы, но по долготе Иркутск восточнее примерно на 7° ? (ВВ)

338. В некотором году Солнце прошло через точку весеннего равноденствия в 6 часов вечера по гринвичскому времени 21 марта. В один ли и тот же момент местного времени взошло Солнце 21 марта в Лондоне и в Иркутске? *Указание:* Учесть изменение склонения Солнца. (ВВ)

339. Каковы приблизительно часовой угол и азимут точек восхода и захода звезды δ Ориона в Мурманске ($\varphi = 68^{\circ}58'$) и в Ташкенте ($\varphi = 41^{\circ}20'$), если склонение звезды — $0^{\circ}21'$?

340. Определить без учета рефракции звездное время и азимуты восхода и захода звезды ϵ Близнецов ($\alpha = 6^{\text{h}}39^{\text{m}}, 7, \delta = +25^{\circ}12'$) в Москве ($\varphi = 55^{\circ}45'$).

341. Определить для Пулкова ($\varphi = 59^{\circ}46', 3$) звездное время и азимут точки восхода Веги ($\alpha = 18^{\text{h}}34^{\text{m}}36^{\text{s}}, \delta = +38^{\circ}43', 6$).

342. Вычислить момент восхода Сириуса ($\alpha = 6^{\text{h}}42^{\text{m}}, \delta = -16^{\circ}37'$) в Москве ($\varphi = 55^{\circ}45'$) 22 октября 1949 г. по поясному времени (без учета рефракции).

343. Вычислить звездное и среднее местное время восхода и захода звезды α Малого Пса ($\alpha = 7^{\text{h}}34^{\text{m}}29^{\text{s}}, \delta = 5^{\circ}27', 5$) в Ленинграде ($\varphi = 59^{\circ}56', 6$) 3 апреля (без учета рефракции).

344. Вычислить (без учета рефракции) часовой угол и азимут точек восхода и захода в Пулкове ($\varphi = 59^{\circ}46', 3$) звезды Регул ($\alpha = 10^{\text{h}}4^{\text{m}}42^{\text{s}}, \delta = +12^{\circ}18', 3$). Сколько времени звезда остается над горизонтом? Когда по среднему солнечному времени произойдут ее восход и заход

20 апреля, если звездное время в полночь этого числа будет $13^{\text{ч}}48^{\text{м}}8^{\text{с}}$?

345. Звезда находится 16 часов под горизонтом Москвы ($\varphi = 55^{\circ}45'$) и 8 часов над горизонтом. Определить приблизительно азимут точки ее захода и ее склонение. (ВВ)

346. Азимут звезды в момент ее захода равен 30° . Вычислить ее склонение, продолжительность ее видимости над горизонтом и ее высоту в кульминации для наблюдателя, находящегося в Воронеже ($\varphi = 51^{\circ},7$). (ВВ)

347. Доказать, что если суточная параллель звезды при ее восходе образует с горизонтом угол ψ , то

$$\cos \psi = \sin \varphi \sec \delta,$$

где φ — широта местности, а δ — склонение звезды. "

348. Показать, как анализ формулы $\cos t = -\operatorname{tg} \delta \operatorname{tg} \varphi$ приводит к выводам относительно обстоятельств суточного пути Солнца в разное время года на полюсах, на полярных кругах, в средних широтах и на экваторе Земли. (ВВ)

349. 21 июня склонение Солнца $\delta = 23^{\circ}27'$. На какой широте продолжительность дня 21 июня равна только трем часам?

350. Вычислить продолжительность дня и среднее местное время восхода и захода верхнего края Солнца по точным формулам для пункта с координатами $\varphi = 47^{\circ}13',0$; $\lambda = 2^{\text{ч}}38^{\text{м}},9$ 24 мая, если в это время склонение Солнца $\delta = 20^{\circ}37',2$. Указание: Учесть влияние рефракции.

351. Вычислить продолжительность самого длинного и самого короткого дня в Ленинграде ($\varphi = 59^{\circ}57'$), в Москве ($\varphi = 55^{\circ}45'$) в Душанбе ($\varphi = 38^{\circ}35'$). Какая зависимость связывает продолжительность самого длинного и самого короткого дней в данном месте (без учета рефракции)?

352. Вычислить точные моменты восхода и захода верхнего края Солнца по местному времени в самый длинный и самый короткий день для Ленинграда, Москвы и Самарканда.

353. 4 мая склонение Солнца δ равно $+15^{\circ}0',7$. Наблюдения показали, что в этот день Солнце зашло через $7^{\text{ч}}25^{\text{м}}$ звездного времени после своей верхней кульминации. Какова географическая широта места наблюдения?

354. Когда Солнце опускается под горизонт на 18° , наступает полная ночь (кончаются астрономические сумерки). Через сколько времени (приблизительно) после захода Солнца наступает ночь во время равноденствия на земном экваторе? под широтой 45° ? под широтой 60° ?

355. Вычислить (с учетом рефракции) продолжительность астрономических сумерек в Ленинграде ($\varphi = 59^\circ 56', 6$) 25 марта, когда склонение Солнца составляет $+2^\circ 1', 9$.

356. Найти северную широту, на которой благодаря влиянию рефракции день удлиняется на 16 минут при склонении Солнца 0° .

357. Доказать, что на северном полярном круге абсолютная величина суточного изменения азимута точки захода Солнца равна изменению его долготы за сутки.

358. Как должны быть расположены на Земле два места с тем, чтобы в любой день года, в любой час Солнце хотя бы в одном из них было над горизонтом или на горизонте?

359. На северном полярном круге ($\varphi = 66^\circ 33'$) в течение одного полугодия восход Солнца приходится ежедневно на один и тот же час звездного времени, в течение другой половины года то же имеет место для солнечного захода. Доказать это без помощи тригонометрических вычислений и выяснить детали явления. Чему равно это неизменное звездное время солнечного восхода (захода)? Как в этот момент располагается эклиптика? В какой день года и каким образом постоянство звездного времени восхода Солнца сменяется постоянством звездного времени захода? Как изменяется на полярном круге продолжительность дня и ночи в течение года?

360. Доказать, что на широте 45° промежуток времени от того момента, когда азимут звезды равен -90° , до момента ее захода есть величина постоянная для всех звезд.

361. Взяв формулу, определяющую косинус зенитного расстояния по известным δ , t и φ , вывести формулу, дающую увеличение часового угла Солнца в зависимости от увеличения его зенитного расстояния, при восходе или заходе Солнца. Указание: Продифференцировать формулу. (ВВ)

362. Из формул преобразования экваториальных координат в горизонтальные и обратно

$$\sin \delta = \sin \varphi \cos z - \cos \varphi \sin z \cos A,$$

$$\sin z \cos A = -\cos \varphi \sin \delta + \sin \varphi \cos \delta \cos t$$

вывести формулы, определяющие зенитное расстояние и момент (по звездному времени) прохождения светила через первый вертикал. (ВВ)

363. Определить высоту звезды Денеб ($\alpha = 20^{\text{ч}}39^{\text{м}},5$, $\delta = +45^{\circ}2',0$) и звездное время в момент ее прохождения через первый вертикал в Пулкове ($\varphi = 59^{\circ}46',3$) по формулам, данным в ответе к предыдущей задаче. Вычислить эти же величины для звезд η Волопаса ($\alpha = 13^{\text{ч}}51^{\text{м}},4$, $\delta = +18^{\circ}45'$) и ι Возничего ($\alpha = 4^{\text{ч}}52^{\text{м}},5$, $\delta = +33^{\circ}4'$) для Москвы ($\varphi = 55^{\circ}45'$).

Х. ПРЕЦЕССИЯ

II

Под действием притяжения Луной и Солнцем избытка массы, расположенного вдоль земного экватора (созданного сжатием Земли у полюсов), ось Земли, не меняя своего наклона к эклиптике, описывает в пространстве коническую поверхность с периодом около 26 000 лет. Это явление называется *прецессией*. Как следствие этого полюс мира перемещается среди звезд на небесной сфере по кругу радиусом $23^{\circ}27'$ с центром в полюсе эклиптики, находящемся в созвездии Дракона ($\alpha = 18^{\text{ч}}$, $\delta = 66^{\circ}33'$). Точка весеннего равноденствия перемещается поэтому по эклиптике на $50'',26$ в год, навстречу Солнцу (к западу). Прецессия иначе называется еще *предварением равноденствий*, так как благодаря ей равноденствия наступают раньше, чем было бы в случае неподвижной оси.

Период между двумя прохождениями Солнца через точку весеннего равноденствия называется *тропическим годом* (365,2422 суток). Полный период обращения Земли вокруг Солнца по отношению к звездам называется *звездным*, или *сидерическим годом*: благодаря предварению равноденствий он длиннее тропического (365,2564 суток).

Период между двумя прохождением Земли через перигелий называется *аномалистическим* годом. Он не равен звездному (он равен 365,2596 суток), потому что большая ось земной орбиты сама медленно вращается в пространстве относительно звезд.

Вследствие прецессии долготы всех звезд увеличиваются ежегодно на $50'',26$, а широты остаются без изменения. Экваториальные координаты звезд α и δ обе меняются благодаря прецессии. Для учета этих изменений вычислены таблицы. Такая таблица IX дана в приложениях.

ВТОРОЙ КОНЦЕНТР

364. За сколько лет вследствие прецессии полюс мира опишет дугу в 5° ?

365. Удачны ли в наше время названия «тропик Рака» и «тропик Козерога»?

366. В каком созвездии через 13 000 лет будет находиться точка весеннего равноденствия? (ВВ)

367. Какие два условия порознь необходимы и достаточны для прекращения явления прецессии? (ВВ)

368. Созвездие Южной Короны имеет приблизительные координаты: $\alpha = 18^\circ$, $\delta = -40^\circ$; созвездие Ориона: $\alpha = 6^\circ$, $\delta = 0^\circ$. Каковы условия видимости этих созвездий в Москве в настоящее время? Как изменятся их координаты и условия их видимости через 13 000 лет?

369. Выяснить, какие созвездия, видимые в настоящее время в Ташкенте, через 13 000 лет окажутся там невидимыми.

370. Определить с помощью небесного глобуса, какие созвездия не были видимы на месте современного Ленинграда 6000 лет назад, когда в древнем Вавилоне начались первые систематические наблюдения за движением планет. (ВВ)

371. Была бы прецессия более быстрой или более медленной, если бы Земля была более сплюснутой? Если бы Луна находилась ближе? Если бы Земля была плотнее? Если бы она вращалась быстрее?

372. Величина сидерического года равна 365,25636 средних суток. Найти величину тропического года, зная, что точка весеннего равноденствия вследствие прецессии движется навстречу Солнцу по эклиптике на $50'',2$ в год.

373. Влияет ли прецессия на сравнительный солярный (т. е. обусловленный лишь астрономическими причинами) климат северного и южного полушарий Земли? (ВВ)

374. Эклиптические координаты звезды в некоторый момент были $\lambda = 359^\circ 17' 44''$, $\beta = -17^\circ 35' 37''$. Определить

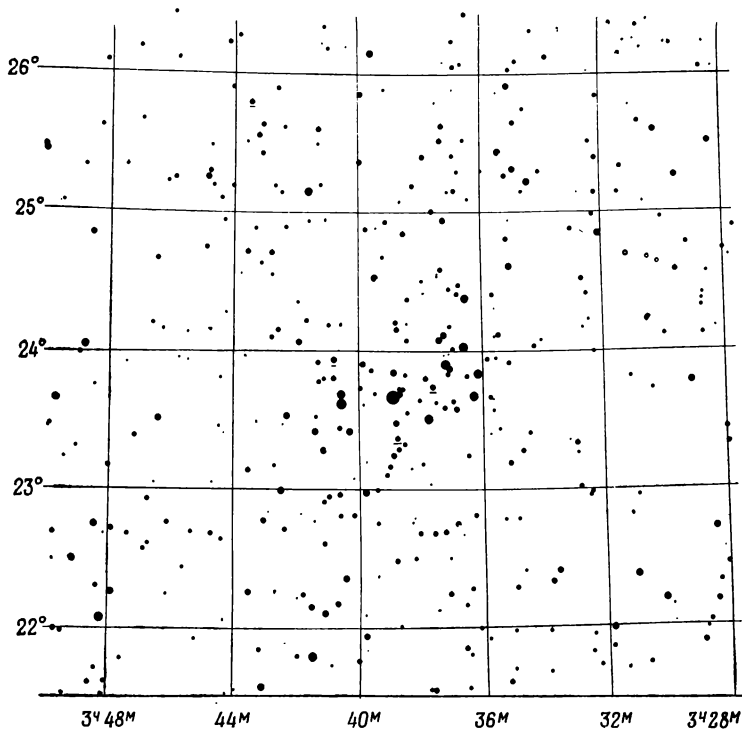


Рис. 13. Карта звездного скопления Плеяд. Координатная сетка для 1855 г.

ее координаты для момента, предшествующего данному на 10 лет, на 100 лет; для момента через 100 лет. (ВВ)

375. Как влияет (качественно) явление прецессии на изменение экваториальных координат звезд: прямое восхождение и склонение? (ВВ)

376. Для каких звезд на небесной сфере изменение прямого восхождения вследствие прецессии является наиболее быстрым? (ВВ)

377. В звездном каталоге для равноденствия 1855 г. приведены следующие координаты звезды 6,4 зв. величины: $\alpha = 22^{\text{ч}}7^{\text{м}}0^{\text{с}}$, $\delta = +27^{\circ}53'7''$. С помощью таблицы IX годичной прецессии определить координаты этой звезды для равноденствия 1810 г. и 1900 г. (ВВ)

Сравнить разность полученных координат с угловым диаметром Луны ($32'$).

378. Даны координаты звезд на 1855 г.:

Звезда 5,2 величины:	$\alpha = 10^{\text{ч}}54^{\text{м}}27^{\text{с}}$	$\delta = -1^{\circ}42',1''$
Звезда 4,5 величины:	$\alpha = 3^{\text{ч}}37^{\text{м}}43^{\text{с}}$	$\delta = +23^{\circ}29',4''$
δ Цефея:	$\alpha = 22^{\text{ч}}23^{\text{м}}48^{\text{с}}$	$\delta = +57^{\circ}40',4''$
о Кита:	$\alpha = 2^{\text{ч}}12^{\text{м}}1^{\text{с}}$	$\delta = -3^{\circ}38',5''$

По таблицам прецессии определить их координаты для 1930 г. Найти эти звезды в большом атласе проф. Михайлова (1920 г.), где сетка координат дана для 1900 г.

379. В начале 1950 г. координаты трех звезд звездного скопления Плеяд таковы: $\alpha = 3^{\text{ч}}44^{\text{м}}34^{\text{с}}$, $\delta = +24^{\circ}08' (7,0)$; $\alpha = 3^{\text{ч}}44^{\text{м}}35^{\text{с}}$, $\delta = +23^{\circ}57' (3,2)$; $\alpha = 3^{\text{ч}}46^{\text{м}}21^{\text{с}}$, $\delta = +24^{\circ}14' (8,0)$. В скобках указан блеск звезды в звездных величинах. Учтем прецессию по таблице IX, найдя эти звезды на карте Плеяд из «Боннского обозрения неба» (рис. 13), где сетка координат начерчена для 1855 г.

380. Дана продолжительность:

тропического года	365,2422	сречн.	солн.	суток
звездного года	365,2564	»	»	»
аномалистического года	365,2596	»	»	»

Определить по этим данным величину и направление прецессии и векового перемещения перигелия относительно звезд.

XI. ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ С ПОМОЩЬЮ НЕБЕСНОГО ГЛОБУСА

I

С помощью небесного глобуса можно решить наглядным образом множество задач. Для этого, однако, глобус должен быть помещен внутри подвижной армиллярной сферы (рис. 14). Если глобус выполнен аккуратно, он дает ответы с точностью не менее 1° .

Глобус вращается на оси PP' внутри кольца PZS , изображающего меридиан и поддерживаемого снизу

упором Z' , изображающим надир. Z — зенит, NWS — круг горизонта, разделенный на градусы; по нему от точки S к точке W отсчитываются азимуты. Высоты отсчитываются от круга горизонта по разделенной на градусы дуге ZQ , вращающейся на оси, перпендикулярной к поверхности глобуса и скрепленной с зажимом R . (Если дуги нет,

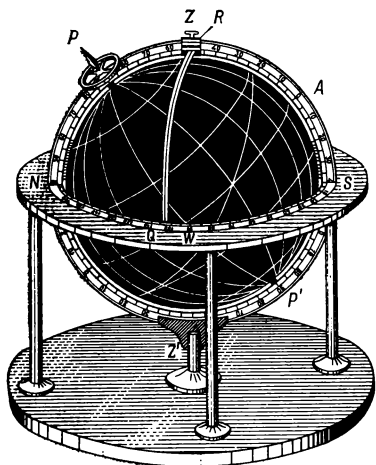


Рис. 14. Небесный глобус.

ее можно заменить бумажной полоской, разделенной на градусы.) Круг меридиана также разделен на градусы (0° на линии небесного экватора, изображенной на глобусе). Зажим R можно укрепить в любой точке круга меридиана. Если зажим R закреплен в точке, отстоящей по кругу меридиана на 90° от точек S и N , то Z будет зенит, а дуга ZQ — круг высоты. Если зажим укреплен над точкой P , то дуга RQ изображает круг склонения (часовой круг) и по ней можно отсчитывать склонения.

Впрочем, склонения и прямые восхождения светил отсчитываются прямо по координатной сетке, нанесенной на глобусе. На горизонте N и S — точки севера и юга, W и E (не видна на чертеже) — точки запада и востока. Круг WA на глобусе — экватор и A — точка экватора. Часовые углы светил отсчитываются по координатной сетке глобуса, как углы, заключенные между южной частью PZS меридиана $NZAS$ и подвижной дугой RQ (кругом склонения), закрепленной тогда над точкой P и установленной так, чтобы она проходила через светило. Часовой угол можно отсчитывать и от точки A к точке W по экватору — до его пересечения с упомянутой дугой.

Установка глобуса так, чтобы он изображал расположение звездного неба и небесной сферы относительно горизонта наблюдателя, находящегося на широте φ , производится вращением круга меридиана с глобусом в своей плоскости, пока дуга NP не станет равна φ . Назовем это установкой глобуса по широте.

ТИПЫ ЗАДАЧ, РЕШАЕМЫХ С ПОМОЩЬЮ НЕБЕСНОГО ГЛОБУСА

I. Установить расположение созвездий относительно горизонта и меридиана наблюдателя в данный час звездного времени s . Установив глобус по широте, вращаем его внутри круга меридиана, пока круг склонения, начерченный на глобусе и проходящий через точку экватора, прямое восхождение которой $\alpha = s$, не совпадет с дугой меридиана PAS . (Если s не равно целому числу часов, круг склонения проводим мысленно, пользуясь делениями на экваторе.)

II. Решить ту же задачу для момента солнечного времени t в данный день. Вычисляем сначала звездное время s , соответствующее солнечному времени t в данный день, и поступаем так, как было сказано в задаче I.

III. Определить высоту светил в верхней и в нижней кульминации. Устанавливаем глобус для данной широты. Глобус вращаем на оси PP' до тех пор, пока светило не станет под дугой PZS (верхняя кульминация) или под дугой PN (нижняя кульминация). Высоту для этого положения отсчитываем по кругу меридиана от горизонта до светила.

IV. Определить предельное склонение незаходящих и невосходящих звезд. Устанавливаем глобус по широте. Наименьшее склонение незаходящих звезд отсчитываем по кругу меридиана от экватора до точки N . Наибольшее склонение невосходящих звезд отсчитываем по кругу меридиана от экватора до точки S .

V. Определить, видно ли данное светило в данной местности. Устанавливаем глобус по широте. Найдя на глобусе светило, вращаем глобус и следим за тем, поднимается ли оно когда-либо выше горизонта.

VI. Определить широту местности, на которой светило становится видимо или невидимо. Найдя светило на глобусе, устанавливаем его под кругом меридиана и вращаем круг меридиана вместе с глобусом, пока светило не совпадет с точкой S . Тогда высота полюса P даст требуемую широту.

VII. Изучить характер суточного движения разных светил на данной географической широте. Устанавливаем глобус по широте и вращаем его вокруг оси, следя за тем, как то или иное светило движется относительно горизонта, зенита и т. п.

VIII. *Найти точку небесной сферы, где находится Солнце в данный день.* Находим координаты α и δ Солнца по календарю и по ним находим эту точку среди созвездий, пользуясь координатной сеткой глобуса. Если календаря нет, то умножаем $59'$ (среднее суточное смещение Солнца по эклиптике) на число дней, протекших от 22 марта до данного дня года. Полученное число градусов отсчитываем на глобусе от точки весеннего равноденствия γ вдоль эклиптики против часовой стрелки. Солнце будет находиться в точке, найденной таким образом.

IX. *Перевести экваториальные координаты светила в горизонтальные для данной широты в данный момент (или найти h и A светила в данный момент на широте φ).* Устанавливаем глобус, как сказано в задачах I или II; установив зажим R в точке Z (не сдвинув глобуса!), поворачиваем дугу RQ так, чтобы она проходила через светило, и непосредственно отсчитываем его h и A .

X. *Определить часовой угол, солнечное время и азимуты точек восхода и захода светила.* Устанавливаем глобус по широте. Находим на глобусе светило и, вращая глобус вокруг оси, приводим светило в совпадение с кругом горизонта (в положение восхода или захода). Азимут этой точки отсчитываем по кругу горизонта. Часовой угол отсчитываем по экватору от точки A до его пересечения с дугой RQ , устанавливаемой для этого так, чтобы она прошла через точку восхода (захода), и закрепленной зажимом над полюсом мира P . Полученный часовой угол, прибавленный к прямому восхождению данного светила α , дает звездное время s восхода (захода), которое переводится в солнечное путем обычного расчета. Можно также, зная, где на небесной сфере в данный день находится Солнце, найти эту точку на глобусе, отсчитать, подобно предыдущему, часовой угол Солнца (удерживая светило в положении восхода или захода) — это и будет солнечное (местное и истинное) время восхода или захода светила. Истинное местное время восхода или захода самого Солнца измеряется часовым углом точек его восхода или захода, отсчитываемым так, как это было указано выше.

XI. *Перевод α и δ светила в его λ и β (долготу и широту).* При любом положении глобуса устанавливаем полюс эклиптики (отмеченный на глобусе) под кругом

меридиана. Над этой точкой закрепляем зажим R ; дугу RQ поворачиваем так, чтобы она прошла через наше светило, которое мы предварительно нашли на глобусе по заданным его α и δ . Не трогая глобуса, отсчитываем от эклиптики по дуге RQ расстояние до светила (т. е. его β), λ отсчитываем от точки весеннего равноденствия против часовой стрелки по эклиптике до ее пересечения с дугой RQ . (Не забывать, что зажим дуги RQ при этом все время должен находиться над полюсом эклиптики). Отсюда ясно, как решается и обратная задача нахождения α и δ по λ и β .

XII. *Определить время кульминации светила в данный день.* Вращая глобус, ставим данное светило под круг меридиана. Если кульминация верхняя, то она происходит в момент звездного времени $s = \alpha$, где α — прямое восхождение нашего светила, данное или отсчитываемое по сетке глобуса, s переводят в солнечное время обычным образом. Однако, если знать, где на глобусе в этом его положении (и в данный день) находится Солнце, то его часовой угол, отсчитанный по глобусу, и будет солнечным временем момента кульминации светила.

XIII. *Найти звездное время, соответствующее данному среднему.* Отмечаем на экваторе точку, отстоящую от точки весеннего равноденствия γ на $59'$, умноженные на число дней, прошедших от 22 марта до данного дня года. Вращая глобус на оси, приводим эту точку в положение, когда ее часовой угол равен данному среднему времени. Соответствующее звездное время получим, отсчитав по экватору дугу $A\gamma$ (часовой угол точки весеннего равноденствия) при этом положении глобуса.

XIV. *Найти день, когда на данной широте Солнце восходит в заданное время.* Устанавливаем глобус по широте. Зажим R закрепляем над полюсом P , дугу RQ устанавливаем на заданный часовой угол. Точка пересечения дуги RQ с горизонтом будет точкой восхода Солнца. Вращая глобус, находим точку эклиптики, в которой она пересекает горизонт в найденной точке восхода Солнца. Искомый день года равен 22 марта плюс число дней, равное дуге эклиптики от точки γ до этой точки (отсчет против часовой стрелки), деленной на $59'$. Другой день, отвечающий задаче, найдем, повернув глобус вокруг оси, пока в описанное положение на горизонте не попадет другая точка эклиптики.

Помимо перечисленных, с помощью небесного глобуса можно решить много других задач, например задачи 368, 369 и 370 из отдела прецессии.

Вместо глобуса можно применять различные графические приемы, например сетку Вульфа, сетки Каврайского и др. Простейшие из таких способов — способ поворота кругов и способов небесной планисферы — описаны Каменьщиковым в его «Сборнике астрономических задач», однако они дают ответы с небольшой точностью.

Решить с помощью небесного глобуса следующие задачи, приведенные ранее (помня, что глобус дает ответы с малой точностью):

II. Небесная сфера: 14, 20, 24, 25, 27—32.

III. Системы небесных координат: 36—45, 47, 54—74, 84—95.

IV. Кульминации светил: 101—124, 126—128, 137—154, 161.

IX. Восход и заход светил: 325—335, 339—346, 349—355.

ХII. ДВИЖЕНИЕ ПЛАНЕТ

I

Планеты движутся вокруг Солнца по эллиптическим орбитам. Вытянутость этих эллиптических орбит и наклоны их плоскостей к эклиптике обычно так малы, что при решении многих задач планетные орбиты можно считать круговыми и лежащими в плоскости эклиптики. Орбиты планет Меркурия и Венеры лежат внутри орбиты Земли, это — *нижние* планеты. Остальные планеты — *верхние* — дальше от Солнца, чем Земля. Расстояние Земли от Солнца равно 149 600 000 км; это расстояние называют *астрономической единицей* (а. е.). Меркурий никогда не бывает виден от Солнца далее чем на 27° , а Венера далее чем на 48° . Поэтому эти планеты видны то как утренние, то как вечерние звезды — на востоке перед восходом Солнца или на западе после его захода. Различные характерные взаимные расположения планет относительно Земли и Солнца (планетные конфигурации) показаны на рисунке 15, на котором положение Земли отмечено буквой *T*, и названия этих конфигураций надписаны.

Если из Солнца провести прямую $S\Upsilon$ (рис. 16) по направлению к точке весеннего равноденствия, то угол ΥSP между прямой $S\Upsilon$ и направлением от Солнца к планете (SP), отсчитываемый от $S\Upsilon$ против часовой стрелки, называется *гелиоцентрической долготой планеты* и обозначается через l .

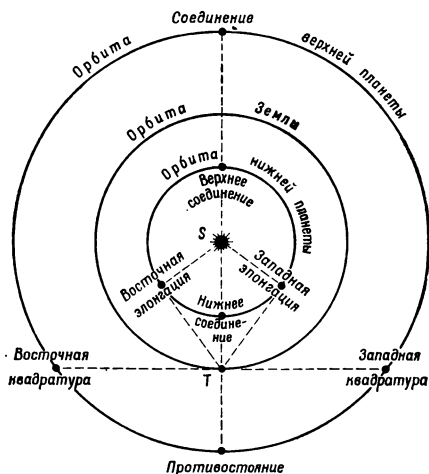


Рис. 15. Планетные конфигурации.

Если обозначить через L гелиоцентрическую долготу Земли T , то для внутренней планеты (рис. 15)

- в нижнем соединении $l - L = 0^\circ$,
- в верхнем соединении $l - L = 180^\circ$,
- в западной элонгации $l - L = 90^\circ - \theta$,
- в восточной элонгации $l - L = 270^\circ + \theta$,

где θ — наибольшее видимое угловое удаление планеты от Солнца. Для внешней планеты

- в противостоянии $l - L = 0^\circ$,
- в соединении $l - L = 180^\circ$.

Угол при Земле ΥTP между направлениями с Земли к точке весеннего равноденствия Υ (параллельным $S\Upsilon$) и к планете P , отсчитываемый против часовой стрелки, называется *геоцентрической долготой планеты* l' (рис. 16). Угол l' определяется в задачах этого раздела графически следующим образом. Зная l и L , отмечают положения планеты и Земли на их орбитах, произвольно проводя

линию $S\gamma$. Радиусы кругов, изображающих орбиты, должны быть построены в одинаковом масштабе. Из Земли проводят прямую $T\gamma$, параллельную $S\gamma$, и, соединив T с P , угол ι' измеряют транспортиром.

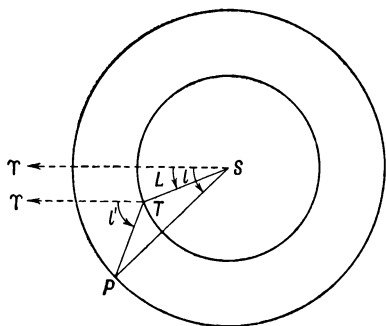


Рис. 16. Гелиоцентрические и геоцентрические долготы планет.

Гелиоцентрически долготы планет для определенных дней года ежегодно печатаются в астрономическом календаре.

Если S — период обращения планеты вокруг Солнца (звездный период) и T — продолжительность года, то P — промежуток времени между двумя одноименными конфигурациями планеты (синодический период) связан с ними уравнением синодического движения:

$$\begin{aligned} \text{для нижней планеты} \quad & \frac{1}{S} - \frac{1}{T} = \frac{1}{P}, \\ \text{для верхней планеты} \quad & \frac{1}{T} - \frac{1}{S} = \frac{1}{P}. \end{aligned}$$

P (например, промежуток времени между двумя верхними соединениями) может быть найден из наблюдений.

Средние гелиоцентрические угловые скорости планет убывают с расстоянием от Солнца и равны $360^\circ : S$. Средние суточные движения планет (средние угловые скорости за сутки) таковы:

Меркурий 245',5	Земля 59',1	Юпитер 5',
Венера 96',1	Марс 31',4	Сатурн 2'.

Расчеты, выполняемые по этим данным, неточны, потому что в действительности планеты движутся по эллипсам неравномерно, и плоскости их орбит несколько наклонены к эклиптике.

Движения планет происходят по законам Кеплера:

I. Каждая планета движется по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце.

II. При движении планеты ее радиус-вектор описывает равные площади в равные промежутки времени.

III. Квадраты сидерических времен обращений планет относятся как кубы больших полуосей их орбит (как кубы

их средних расстояний от Солнца), т. е.

$$\frac{a_1^3}{a_2^3} = \frac{T_1^2}{T_2^2} \quad \text{или} \quad \frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{T_2^2} = \text{const.}$$

Эти законы справедливы и для движений спутников вокруг своей планеты. Эллипсом называется замкнутая кривая, сумма расстояний каждой точки которой до двух точек, называемых фокусами (S и F на рис. 18), постоянна. Вытянутость эллипса характеризуется величиной эксцентриситета e . Если $e = 0$, то орбита — круг (частный случай эллипса). Если $e = 1$, то орбита — бесконечно вытянутый эллипс, т. е. парабола. На рисунке 18 расстояние $OP = OA = a$ называется большой полуосью орбиты (O — центр эллипса). По определению

$$e = \frac{OS}{OA} = \frac{c}{a}.$$

Наименьшее расстояние планеты от Солнца $SP = a(1 - e)$, наибольшее $SA = a(1 + e)$. Точка P — ближайшая к Солнцу — называется *перигелием*, точка A — наиболее далекая от Солнца — называется *афелием*. Величины a и T для всех планет даны в таблице X.

II

Теория дает, что длина дуги попятного движения планеты (считая ее орбиту круговой)

$$\psi = (360^\circ - 2\theta_0) - 2n\tau,$$

где n — среднее суточное движение планеты, 2τ — продолжительность попятного движения в сутках и θ_0 — элонгация планеты в точке ее стояния, т. е. угол при Земле между направлениями к планете и к Солнцу.

θ_0 дается формулой

$$\operatorname{tg} \theta_0 = \frac{a \sin \varphi_0}{a \cos \varphi_0 + 1}, \quad \theta_0 < 180^\circ,$$

где a — радиус орбиты в астрономических единицах. Угол φ_0 находится из формулы

$$\cos \varphi_0 = \frac{na^2 + n_1^2}{na + n_1a} = -\frac{na^2 + n_1^2}{a(n + n_1)},$$

где n_1 — среднее суточное движение Земли.

Эллиптическая орбита характеризуется элементами, смысл которых ясен из рисунков 17 и 18. Элементы орбит планет солнечной системы даны в таблице X.

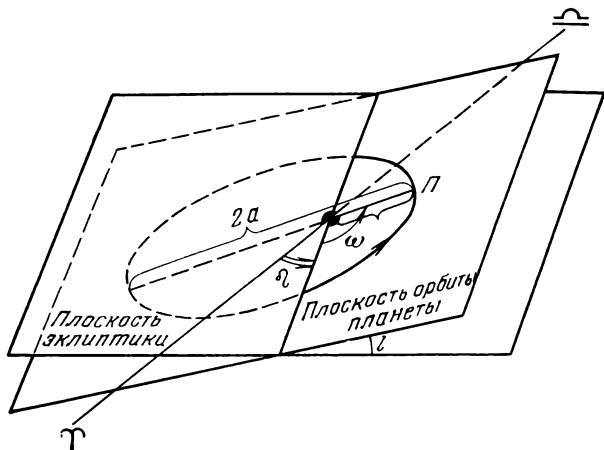


Рис. 17. Элементы планетных орбит.

Шестой элемент T есть один из моментов прохождения небесного тела через перигелий. Для параболической орбиты (по которой движутся некоторые кометы) $e = 1$, $a = \infty$. В этом случае указывается q — перигелийное расстояние (расстояние вершины параболы от ее фокуса, в котором находится Солнце).

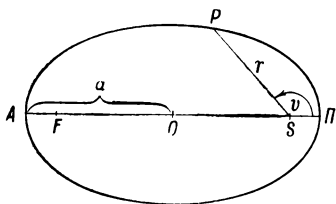


Рис. 18. Истинная аномалия v и радиус-вектор планеты r .

Вычисление эфемериды.

Чтобы вычислить наперед таблицу, называемую эфемеридой, дающую для ряда моментов t расстояние светила от Солнца r , от Земли ρ

и видимые с Земли его координаты α и δ (либо λ и β) по известным элементам орбиты, поступают так.

Сперва находят радиус-вектор r и истинную аномалию светила v , определяющие его место на орбите в момент t (рис. 18). Затем, зная координаты Земли относительно Солнца, в тот же момент находят путем последовательных преобразований координаты

светила (α , δ и ρ) относительно Земли. Эта задача для орбит всех видов одинакова. Нахождение r и v для параболы и для эллипса различно.

Параболическая орбита. r и v определяются формулами

$$\operatorname{tg} \frac{v}{2} + \frac{1}{3} \operatorname{tg}^3 \frac{v}{2} = \frac{k}{\sqrt{2}q^{3/2}} (t - T),$$

$$r = q \sec^2 \frac{v}{2},$$

где k — гауссова постоянная ($k = 0,0172$), а T — момент прохождений через перигелий. v находят по специальным таблицам в функции величины $M = q^{-3/2} (t - T)$ (или в функции $\lg M$).

Эллиптическая орбита. v находится через эксцентрическую аномалию E , определяемую уравнением Кеплера

$$E - e \sin E = M,$$

где средняя аномалия $M = n (t - T)$, а среднее суточное движение $n = ka^{-3/2}$.

Если e близко к 0, E можно найти последовательными приближениями, последовательно вычисляя:

$$E_0 = M + e \sin M,$$

$$E_1 = M + e \sin E_0,$$

$$E_2 = M + e \sin E_1$$

и т. д., пока E_n не окажется равным E_{n-1} . Надо помнить, что в таблицах величина синуса дается в радианах, тогда как E ищется в градусах. Поэтому $e \sin E$ надо выразить в градусах, для чего надо $e \sin E$ умножить на $360^\circ: 2\pi = 57^\circ,2958$. Если, например, $M = 45^\circ$ и $e = 0,66144$ ($\lg e = 9,82049 = -0,17951$), то, так как $\lg 57,2958 = 1,75812$, логарифм коэффициента при $\sin E$ будет уже $1,57861$. Число, соответствующее этому логарифму, будет « e , выраженное в градусах». Если e велико, то приближенное значение E найдем по графику, изображенному на рисунке 19. Это — синусоида, где ординаты даны в радианах. Чтобы найти E по данному M , надо отметить точку a на оси абсцисс, соответствующую значению M (45° для примера), а на верхней горизонтальной линии найти и отметить точку b , соответствующую $M + 100^\circ e$ ($111,1$ для примера). Пересечение прямой ab с кривой в точке c дает приближенно E ($82^\circ 30'$

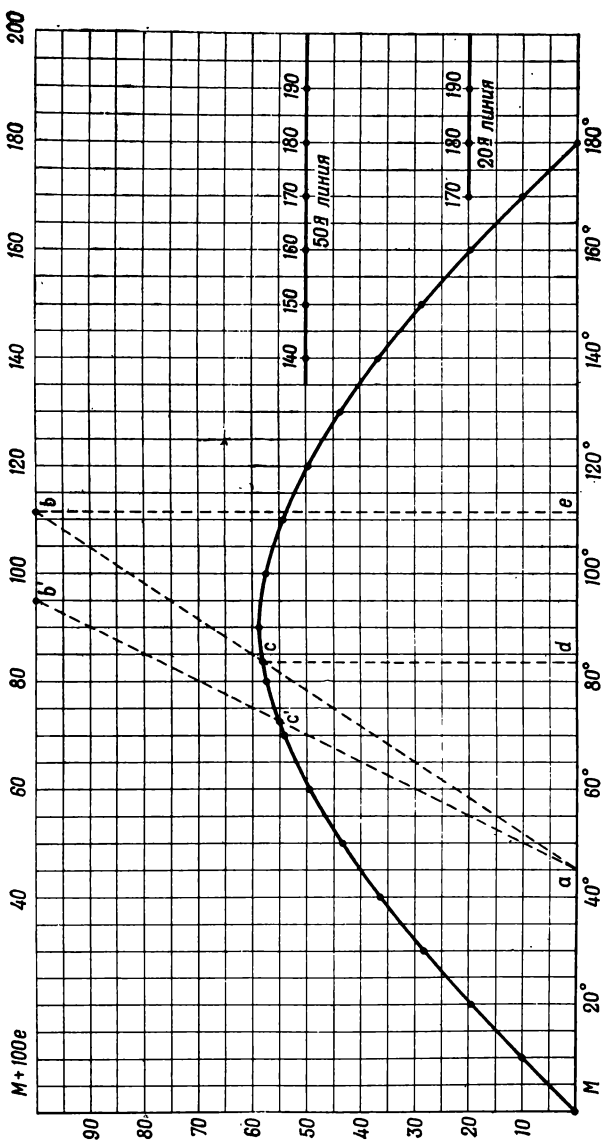


Рис. 19. График для приближенного решения уравнения Кеплера.

в нашем примере, где взято $e = 0,661$). Если $M + 100^\circ e$ не укладывается вверху, то можно отложить $M + 50^\circ e$ на «пятидесятой линии» или $M + 20^\circ e$ на «двадцатой линии» и поступать аналогично. Найденное графически E принимаем за E_0 и дальше находим E последовательными приближениями, как выше. Затем находим v из уравнения

$$\operatorname{tg} \frac{v}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \operatorname{tg} \frac{E}{2}$$

(v и E лежат в одной четверти), r находим из уравнения

$$r = a(1 - e \cos E).$$

Вычисление α , δ и ρ . Находим так называемые гауссовы постоянные a, b, c, A, B, C через вспомогательные величины n и N и наклон эклиптики к экватору ε :

$$\operatorname{tg} N = \operatorname{tg} i \sec \Omega \quad (\text{знаки } \sin N \text{ и } \sin i \text{ одинаковы}), \\ n = \sin i \csc N;$$

$$\operatorname{tg} A = -\operatorname{ctg} \Omega \sec i \quad (\text{знаки } \sin A \text{ и } \cos \Omega \text{ одинаковы}), \\ a = \cos \Omega \csc A;$$

$$\operatorname{tg} B = \sin \Omega \cos \varepsilon: n \cos (N + \varepsilon) \quad [\text{знаки } \cos B \text{ и } \cos (N + \varepsilon) \text{ одинаковы}],$$

$$b = \sin \Omega \cos \varepsilon \csc B;$$

$$\operatorname{tg} C = \sin \Omega \sin \varepsilon: n \sin (N + \varepsilon) \quad [\text{знаки } \cos C \text{ и } \sin (N + \varepsilon) \text{ одинаковы}],$$

$$c = \sin \Omega \sin \varepsilon \csc C.$$

Если вычисления верны, то должно быть

$$\operatorname{tg} i = \frac{bc \sin (C - B)}{a \cos A} \quad (\text{контрольная формула}).$$

После этого α , δ и ρ определяются по формулам

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{rb \sin (B + \omega + v) + Y_0}{ra \sin (A + \omega + v) + X_0},$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{rc \sin (C + \omega + v) + Z_0}{rb \sin (B + \omega + v) + Y_0} \sin \alpha,$$

$$\rho = \csc \delta [rc \sin (C + \omega + v) + Z_0],$$

где X_0, Y_0, Z_0 — прямоугольные геоцентрические координаты Солнца.

ПЕРВЫЙ КОНЦЕНТР

381. Сколько времени поезд, идущий без остановок со скоростью 100 км/час, должен был бы идти от Земли до орбиты Плутона?

382. Жителям Марса, если бы таковые существовали, или космонавтам на нем солнечный диск представлялся бы под углом $22',7$. Зная, что линейный радиус Солнца равен 109 земным радиусам, найти, во сколько времени свет от Солнца доходит до Марса.

383. Сколько времени нужно лететь от Земли до Марса в межпланетном корабле, движущемся по орбите, перигелийное расстояние которой равно расстоянию Земли от Солнца (1 а. е.), а афелийное расстояние равно расстоянию Марса от Солнца (1,5 а. е.)? (Паренаго).

384. Может ли случиться прохождение Марса по диску Солнца? прохождение Меркурия? прохождение Юпитера?

385. Может ли быть Меркурий видим по вечерам на востоке?

386. Планета видна на расстоянии 120° от Солнца. Верхняя ли эта планета или нижняя?

387. 19 мая было противостояние Марса. В каком созвездии он был виден? Венера была в наибольшем вечернем удалении 5 февраля. В каком созвездии она находилась? (ВВ)

388. В какое время года вечерняя видимость Меркурия является наиболее благоприятной? (ВВ)

389. На фотографии засняты одновременно две малые планеты на расстоянии 3° одна от другой, оставившие на пластинке свои следы в виде черточек, так как они передвинулись за время экспозиции по отношению к звездам. Указать, какая из этих двух планет, вероятно, находится ближе к Земле и к Солнцу — та, след которой длиннее, или та, след которой короче. (ВВ)

390. Насколько (в угловой мере) Земля за сутки обгоняет Марс, если смотреть с Солнца (звездные периоды обращений этих планет соответственно равны 365,25 и 687 суток)?

391. Может ли Марс ежегодно подходить к Земле на наименьшее расстояние, т. е. ежегодно быть в противостоянии?

392. Определить звездный период обращения Марса, зная, что его синодический период равен 780 суткам.

393. Синодический период обращения воображаемой планеты составляет 3 года. Каков звездный период ее обращения около Солнца?

394. Чему должен быть равен звездный период обращения планеты, имеющей синодический период обращения, равный 4 годам?

395. Какова должна быть продолжительность звездного и синодического периодов обращения планеты в случаях их равенства?

396. Противостояние Юпитера произошло 15 июля. Когда оно должно быть в следующий раз?

397. Наблюдатель заметил, что некая планета отходит к востоку от Солнца на 90° каждые $505\frac{1}{4}$ суток. Каково время ее обращения вокруг Солнца? (ВВ)

398. Наилучшая вечерняя видимость Венеры (наибольшее ее удаление к востоку от Солнца) была 5 февраля. Когда в следующий раз наступила ближайшая лучшая видимость Венеры в тех же условиях, если звездный период обращения Венеры около Солнца 225 суток?

399. Условия видимости Венеры повторяются через 8 лет почти в те же числа месяцев. Выяснить причину этого явления. (Полак.)

400. Найти среднее суточное движение Меркурия по орбите, если синодический период его обращения вокруг Солнца равняется 115,88 средним суткам.

401. Земля для будущих космонавтов на Марсе является, подобно Венере, то утренним, то вечерним светилом. Через какие промежутки времени можно видеть Землю с Марса в качестве утренней звезды? (ВВ)

402. Зная расстояния планет от Солнца, вычислить наибольшее угловое удаление Земли от Солнца, видимое с Марса (ВВ).

403. На какой угол может отходить от Земли Луна для наблюдателя, находящегося на Марсе во время среднего противостояния, если расстояния от Земли до Луны и Марса считать известными? (Полак.)

404. Расстояние Юпитера от Солнца составляет 5,20 астр. единицы. Какова элонгация Земли x (в градусах), наблюдаемой с Юпитера в качестве утреннего или вечернего светила? (ВВ)

405. Орбиты Земли и Марса — эллипсы; орбита Марса заметно вытянута. Поэтому противостояния Марса происходят при различных расстояниях между планетами. Когда противостояние происходит в месте наибольшего

сближения орбит, расстояние до Марса (55 млн. км) вдвое меньше, чем при наименее благоприятном противостоянии, и рассматривать Марс в телескоп в это время лучше всего. Как часто происходят эти особо благоприятные, так называемые «великие противостояния» Марса, если период его обращения около Солнца равен 1,88 года? *Указание:* Воспользоваться свойством непрерывных дробей. (Перельман.)

406. Определить день ближайшего следующего противостояния Юпитера, зная, что гелиоцентрическая долгота Юпитера 1 января $306^{\circ}55'$, а Земли $99^{\circ}55'$.

407. Определить дни соединения Юпитера с Солнцем в заданном и в следующем году, зная гелиоцентрические долготы на 1 января Юпитера $306^{\circ}55'$ и Земли $99^{\circ}55'$. *Указание:* Во время верхнего соединения разность гелиоцентрических долгот планеты и Земли равняется $(2n+1)180^{\circ}$ ($n=0, 1, 2, \dots$). Средние суточные движения планет указаны во введении. На основании этого нужно составить и решить уравнение, подобное уравнению в задаче 406.

408. Найти день ближайшего после 1 января нижнего соединения Венеры с Солнцем, зная, что гелиоцентрическая долгота Венеры 1 января равнялась $260^{\circ}40'$, а Земли $99^{\circ}55'$. *Указание:* Составить и решить уравнение, зная, что в момент нижнего соединения разность гелиоцентрических долгот Венеры и Земли равна 0° , или 360° , или вообще $2n \cdot 180^{\circ}$.

409. Вычислить день ближайшей к 1 января восточной (вечерней) элонгации Венеры и определить видимое положение Венеры и на небе в момент этой элонгации. Гелиоцентрические долготы на 1 января Венеры $260^{\circ}40'$, а Земли $99^{\circ}55'$. *Указание:* Нужно составить и решить уравнение, зная, что при восточной элонгации разность гелиоцентрических долгот Венеры и Земли равняется $360^{\circ} - 43^{\circ} = 317^{\circ}$ или вообще $(2n \cdot 180^{\circ} - 43^{\circ})$. Средние суточные движения планет указаны во введении.

410. Определить ближайший день наилучшей утренней видимости Венеры, зная гелиоцентрические долготы на 1 января Венеры $260^{\circ}40'$ и Земли $99^{\circ}55'$.

411. Гелиоцентрическая долгота Земли 1 января 100° , а Марса $172^{\circ}49'$. Определить видимое положение Марса на небе 1 мая того же года и 1 мая через два года. *Указание:* Определить сперва истинное положение Земли

и Марса на своих орбитах для 1 мая, зная их среднее суточное движение, затем при помощи чертежа и транспортира определить геоцентрическую долготу Марса и при помощи звездной карты или глобуса указать созвездие, в котором находится Марс в данный момент.

412. Гелиоцентрическая долгота Юпитера 1 июля была 291° , а Земли 279° . Определить видимое положение Юпитера на небе 1 сентября. Указать, мог ли он быть наблюдаем в этот вечер в Ленинграде?

413. Прием орбиты Луны около Земли и Земли около Солнца за окружности. Будет ли тогда меняться скорость движения Луны относительно Солнца? (ВВ)

414. Найти те точки, в которых скорость изменения расстояния планеты от Земли оказывается наименьшей и наибольшей.

415. С какой видимой угловой скоростью Марс движется прямым движением в соединении и обратным движением в противостоянии?

416. С какой видимой угловой скоростью изменяется угловое удаление Венеры от Солнца вблизи времени верхнего соединения? Синодический период обращения Венеры 584 дня и ее расстояние от Солнца 0,72 астр. единицы.

417. С какой видимой угловой скоростью Венера пересекает диск Солнца при ее прохождении? Сколько времени длится ее прохождение по диску Солнца, если оно центральное? Расстояние Венеры от Солнца 0,723 астр. единицы, синодический период обращения Венеры 584 дня; диаметр Солнца $32'$ ($1/_{675}$ окружности).

418. Определить расстояние R Венеры от Солнца в астрономических единицах, если угол ее элонгации составляет 47° . Указание: Орбиты планет считать круговыми. Для решения задачи построить чертеж, изображающий орбиты планет и Венеру в элонгации.

419. Принимая орбиту Меркурия за круг, вычислить его среднее расстояние от Солнца, зная, что в средней элонгации Меркурий удаляется от Солнца на 23° .

420. Определить расстояние Юпитера от Солнца в астрономических единицах, зная следующие данные: в противостояние Юпитера произошло 10 июля. Через 11 лет 315 дней (звездный период обращения Юпитера) геоцентрическая разность долгот Солнца и Юпитера составляла по наблюдениям $\Delta l = 120^\circ$. (ВВ)

421. Проверить третий закон Кеплера для Земли и Нептуна ($a = 30,07$ а. е., $T = 164,8$ года).

422. Во сколько времени обращалась бы вокруг Солнца планета, находящаяся на расстоянии 100 а. е.?

423. Астероид Паллада удален от Солнца в среднем на расстояние в 2,77 раза большее, чем Земля от Солнца. Чему равняется время его полного обращения вокруг Солнца?

424. Как велико среднее расстояние от Солнца малой планеты, период обращения которой вокруг Солнца составляет 8 лет?

425. Астероид Веста совершает полное обращение вокруг Солнца в 3,63 года; во сколько раз дальше, чем Земля, он отстоит в среднем от Солнца?

426. Чему равнялся бы синодический период обращения планеты, звездный период обращения которой вокруг Солнца составлял бы 370 дней? На какое расстояние она приближалась бы к Земле? *Указание:* Звездное обращение Земли принять 365 дней, орбиты считать кругами.

427. Наблюдатель заметил, что некоторая планета бывает в противостоянии каждые $665\frac{1}{4}$ суток. Каково ее расстояние от Солнца в астрономических единицах? (ВВ)

428. Какова была бы большая полуось орбиты планеты, если бы синодический период ее обращения равнялся одному году? (ВВ)

429. В каких пределах расстояния от Солнца должны находиться все планеты, имеющие синодический период обращения дольше двух лет?

430. Период обращения внутреннего спутника Сатурна — Мимаса — $23^ч$, а шестого спутника — Титана — $15^д23^ч$. Каково отношение их средних расстояний от Сатурна?

431. Третий спутник Юпитера обращается вокруг планеты на расстоянии 14,9 ее радиусов в $7^д3,^ч7$. Во сколько времени обращается пятый спутник, расстояние которого равно 2,52 радиуса планеты? Восьмой спутник, для которого оно равно 328 радиусам?

432. Какой эксцентриситет должна иметь орбита планеты, чтобы ее движение по орбите было строго равномерным? (Набоков и Воронцов-Вельяминов.)

433. У некоторой планеты большая полуось орбиты равна 4 а. е., а эксцентриситет равен нулю. Чему равна малая полуось ее орбиты?

ВТОРОЙ КОНЦЕНТР

434. Очень яркий звездообразный объект был видим около 7 часов вечера 1 апреля как раз в точке востока. Была это звезда или планета, и чем вы обосновываете свое заключение?

435. Среднее расстояние Венеры от Солнца 0,72 а. е. Определить наибольшую высоту h , на которой можно в местности с широтой φ видеть Венеру в момент захода Солнца, и указать время года для этого явления. *Указание:* Орбиту Венеры считать круговой и имеющей наклон 0° .

436. Каков предел, к которому стремится синодический период обращения планеты, если звездный период обращения стремится к бесконечности? (ВВ)

437. Считая орбиты планет круговыми, определить расстояние между Землей и планетой (радиусы их орбит 1 и a) в зависимости от угла φ при Солнце между радиусами-векторами Земли и планеты (этот угол есть разность гелиоцентрических долгот Земли и планеты). (ВВ)

438. Принимая, что орбиты планет — круги, лежащие в одной плоскости, и что радиус орбиты предполагаемой планеты равен 40 а. е., определить ее суточное смещение на небесной сфере в противостоянии. (ВВ)

439. Найти отношение продолжительностей прямого и попятного движений планеты за одно ее синодическое обращение P . (Казаков.)

440. Зная расстояния планет от Солнца, вычислить в градусах длину дуги попятного движения Юпитера.

441. Установить соотношение между расстояниями a планет от Солнца и их средними угловыми скоростями ω , предполагая орбиты круговыми.

442. Установить соотношение между средними линейными скоростями v движения планет и их средними расстояниями a от Солнца, предполагая их орбиты круговыми.

443. Примем, что спутники Марса Фобос и Деймос обращаются по круговым орбитам с периодами $7^{\text{ч}}39^{\text{м}}13^{\text{с}},85$ и $30^{\text{ч}}17^{\text{м}}54^{\text{с}},86$. Пользуясь третьим законом Кеплера, определить наибольшее угловое расстояние Фобоса от Марса во время противостояния, если в эту пору наибольшее видимое расстояние Деймоса составляет $1'23'',1$.

444. В романе «Гектор Сервадак» Жюль Верн описывает вымышленную им комету «Галлия» и упоминает, что

ее период обращения около Солнца составляет два года, а ее расстояние от Солнца в афелии равно 820 млн. км. С помощью третьего закона Кеплера проверить, прав ли был Жюль Верн, т. е. может ли существовать такая комета? (Перельман.)

445. Как изменится период обращения планеты, если ее большая полуось увеличится на малую величину Δa ?

446. У кометной орбиты эксцентриситет $e = 0,9$ и период $T = 1000$ лет. Каковы расстояния этой кометы от Солнца в перигелии и в афелии?

447. Эксцентриситет орбиты Меркурия равен 0,2, большая полуось — 0,4 а. е. Чему равно наибольшее и наименьшее расстояния планеты от Земли в километрах? *Указание:* Орбиту Земли считать круговой.

448. Изобразить на чертеже в одинаковом масштабе, сохраняя правильную ориентировку орбит, орбиту Земли и орбиту небесного тела в проекции на плоскость эклиптики, имеющую элементы: $a = 2$ (в астрономических единицах), $e = 0,8$, $i = 7^\circ$, $\Omega = 30^\circ$, $\omega = 45^\circ$. *Указание:* Наклоном орбиты при проектировании ее на плоскость эклиптики пренебречь. (ВВ)

449. Изобразить в проекции на плоскость эклиптики орбиту, небесного тела, имеющую элементы: $a = 1,5$, $i = 90^\circ$, $\Omega = 45^\circ$, $e = 0$. Для сравнения на том же чертеже и в том же масштабе изобразить орбиту Земли. (ВВ)

450. Изобразить на чертеже орбиту Земли и в проекции на плоскость эклиптики орбиту небесного тела, имеющую элементы: $i = 0^\circ$, $\pi = 45^\circ$, $e = 0,5$, $a = 1,5$. В данном случае π — угол между направлением от Солнца к точке весеннего равноденствия и направлением от Солнца к перигелию. (ВВ)

451. Изобразить в проекции на плоскость эклиптики орбиту периодической кометы Энке, имеющую элементы: $i = 13^\circ$, $q = 0,34$, $\Omega = 335^\circ$, $\omega = 184^\circ$, $e = 0,85$. Наклоном орбиты пренебречь. На том же чертеже для сравнения изобразить кругами орбиты ближайших к Солнцу планет, соблюдая масштаб. (ВВ)

452. Изобразить в проекции на плоскость эклиптики параболическую орбиту небесного тела, имеющую элементы: $i = 1^\circ$, $q = 0,25$, $\Omega = 90^\circ$, $\omega = 15^\circ$. Наклоном орбиты к эклиптике пренебречь. Для сравнения на том же чертеже изобразить орбиту Земли, соблюдая масштаб.

Определить по чертежу расстояние от Земли до этого тела 22 июня, если в этот день истинная аномалия тела была 30° ; если она была -120° . (ВВ)

453. Доказать, что

$$\cos v = \frac{\cos E - e}{1 - e \cos E} \quad \text{и} \quad \sin v = \frac{(1 - e^2)^{1/2} \sin E}{1 - e \cos E},$$

где v — истинная, E — эксцентрическая аномалии и e — эксцентриситет.

454. Решить графическим способом уравнение Кеплера:

$$E + 0,7 \sin E = 214^\circ 0', 0.$$

455. Вычислить точное значение эксцентрической аномалии при $M = 47^\circ, 3$ и $e = 0,96173$, если ее приближенное значение при $e = 0,96$ равно $101^\circ, 3$.

456. Вычислить эксцентрическую аномалию E для Марса через 200 дней после прохождения им перигелия, воспользовавшись следующими данными: $e = 0,093$, период обращения $P = 687$ суткам.

457. Вычислить эксцентрическую аномалию E малой планеты через 22,5 суток после ее прохождения через перигелий. Элементы ее орбиты: $e = 0,02947$ и среднее суточное движение $n = 14', 678$. Задачу решить непосредственным применением способа последовательных приближений.

458. Орбита кометы имеет элементы: большая полуось $a = 4$ а. е., эксцентриситет $e = 0,66144$. Определить истинную аномалию v и радиус-вектор r кометы через год после прохождения ее через перигелий.

459. Орбита кометы имеет элементы: период обращения $P = 2$ годам, эксцентриситет $e = 0,66144$. Определить радиус-вектор r и истинную аномалию v кометы через год после прохождения ее через перигелий.

460. Орбита кометы имеет элементы: период обращения $P = 3$ годам, эксцентриситет $e = 0,66144$. Определить истинную аномалию v и радиус-вектор кометы r через год после прохождения ее через перигелий.

461. Вычислить радиус-вектор r и истинную аномалию v малой планеты, соответствующие значению эксцентрической аномалии $E = 60^\circ 34', 5$, если для ее орбиты $\lg a = = 0,4603$, $e = 0,04625$.

462. Вычислить радиус-вектор r и истинную аномалию v кометы, орбита которой имеет элементы: $a = 2,645$

и $e = 0,2453$, для момента, когда средняя аномалия $M = 332^\circ 28',9$. *Указание:* Воспользоваться графиком, изображенным на рисунке 19, и уточнить значение эксцентрической аномалии способом последовательных приближений.

463. Вычислить истинную аномалию v и радиус-вектор r кометы через 63,32 дня после прохождения ее через перигелий, если орбита параболическая и $\lg q = 0,04411$. Истинную аномалию определить путем интерполирования на основании приводимых ниже значений $\lg M$, соответствующих определенным значениям v :

v	$61^\circ 15'$	$61^\circ 16'$	$61^\circ 17'$,
$\lg M$	1,73523	1,73540	1,73558.

464. Найти v и r для кометы, движущейся по параболической орбите с перигелийным расстоянием $\lg q = 9,5191$, за 36,55 дней до прохождения через перигелий на основании нижеприводимых значений v и $\lg M$:

v	$109^\circ 15'$	$109^\circ 16'$	$109^\circ 17'$,
$\lg M$	2,28410	2,28434	2,28458.

465. Даны элементы малой планеты Эвдоры (№ 217):

$T_0 = 1880$ г., сент. 1,50,	$i = 11^\circ 19',8$,
$M_0 = 19^\circ 21',8$,	$e = 0,3713$,
$\Omega = 164^\circ 9',3$,	$\lg a = 0,4955$,
$\omega = 136^\circ 46',4$,	$n = 640'',89$.

Экваториальные прямоугольные геоцентрические координаты Солнца таковы:

		X	Y	Z
Сентябрь	1,5	-0,9466	0,3192	0,1385
	5,5	-0,9670	0,2594	0,1126
	9,5	-0,9829	0,1985	0,0861.

Вычислить эфемериду планеты (r , ρ , α и δ) для 1880 г. сентября 1,5, 5,5 и 9,5.

466. Элементы параболической кометной орбиты таковы:

$T = 1881$ г., июль 16,489,	$i = 63^\circ 28',7$,
$\omega = 354^\circ 15',9$,	$\lg q = 9,8658$,
$\Omega = 270^\circ 58',0$,	$e = 23^\circ 27',3$.

Прямоугольные экваториальные геоцентрические координаты Солнца по ежегоднику таковы:

		X	Y	Z
Июнь	23,5	—0,0448	0,9317	0,4042
	24,5	—0,0617	0,9309	0,4039
	25,5	—0,0786	0,9299	0,4034.

Вычислить эфемериду (ρ , α и δ) кометы для 1881 г., июня 23,5, 24,5 и 25,5. В таблицах, содержащих значения $\lg M$ в функции v , дано:

v	$\lg M$	v	$\lg M$	v	$\lg M$
15°21'	1,047712	17°28'	1,10478	19°34'	1,15583
15°22'	1,047600	17°29'	1,10520	19°35'	1,15621.

ХІІІ. ПАРАЛЛАКС И АБЕРРАЦИЯ

I

Горизонтальным экваториальным параллаксом p_0 называется угол, под которым со светила виден экваториальный радиус Земли R , перпендикулярный к лучу зрения. Если расстояние до светила D , то

$$D = \frac{R}{\sin p_0}.$$

Для Луны в среднем $p_0 = 57'$, для Солнца в среднем $p_0 = 8'',79$. Если параллакс выражать в секундах дуги, то ввиду его малости можно принять

$$D = \frac{R}{p_0 \sin 1''} = \frac{206\,265 \cdot R}{p_0},$$

и мы видим, что параллакс обратно пропорционален расстоянию до светила.

Если видимый угловой радиус светила ρ , его линейный радиус r , а его параллакс p_0 , то

$$r = D \sin \rho = \frac{\sin \rho}{\sin p_0} R,$$

или с достаточной точностью $r = \frac{\rho}{p_0} R$.

Годичным параллаксом π называется угол, под которым со светила (находящегося вне солнечной системы) видна большая полуось земной орбиты, перпендикулярная к лучу зрения. Для ближайшей к нам звезды

(α Центавра) годичный параллакс равен $0'',75$. Если расстояние до светила обозначить через D , а большую полуось земной орбиты — через a , то

$$D = \frac{a}{\sin \pi},$$

или практически

$$D = \frac{206\,265}{\pi''} a,$$

где π'' есть π , выраженный в секундах дуги. Расстояние, соответствующее $\pi = 1''$, называется *парсеком*. В парсеках

$$D = \frac{1}{\pi''}.$$

Упражнения на годичный параллакс см. также в разделе XXIV.

II

Суточным параллаксом p называется угол, под которым со светила виден радиус Земли, проведенный в место наблюдения. Он меняется в течение суток, завися от зенитного расстояния светила z :

$$p = p_0 \sin z.$$

Зенитное расстояние, как оно усматривалось бы из центра Земли, называется геоцентрическим. Оно всегда меньше наблюдаемого.

Горизонтальный экваториальный параллакс Солнца p_0 предпочитают находить косвенными методами. Например, измеряют горизонтальный экваториальный параллакс малой планеты p_m в оппозиции, и тогда

$$p_0 = p_m \left(\frac{a'}{a} - 1 \right),$$

если оппозиция произошла при средних расстояниях Земли (a) и малой планеты (a') от Солнца. Другие методы определения параллакса Солнца описаны в тексте задач.

Годичная абберация состоит в кажущемся смещении звезд с их средних положений на небесной сфере в сторону движения Земли. В течение года, вследствие абберации, вызванной сочетанием движения Земли по орбите (со скоростью v) и движения света (со скоростью c), все звезды описывают эллипсы с большой полуосью

20",5 и малой полуосью $20",5 \sin \beta$, где β — широта звезды. Угол $\alpha = 20",5$ определяется соотношением $\operatorname{tg} \alpha = \frac{v}{c}$ и называется постоянной абберации.

ПЕРВЫЙ КОНЦЕНТР

467. Сколько времени луч света идет от Солнца до Земли?

468. Диаметр Луны составляет 0,27 диаметра Земли. Пренебрегая расстоянием от Земли до Луны, определить горизонтальный параллакс Солнца для наблюдателя, находящегося на Луне. (Набоков и Воронцов-Вельяминов.)

469. Чему равен горизонтальный параллакс Марса, когда эта планета находится ближе всего к Земле (0,378 а.е.)? Горизонтальный параллакс Солнца равен 8",79.

470. Каков наибольший угловой диаметр Земли, рассматриваемый с Марса на расстоянии 0,378 а.е.?

471. Нептун находится от Солнца на расстоянии 30 а.е. Чему равен его горизонтальный параллакс на среднем расстоянии от Земли? Чему равен годичный параллакс Нептуна?

472. Чему равен горизонтальный параллакс Юпитера, когда он находится от Земли на расстоянии 6 а.е.?

473. В момент противостояния Юпитера он удален от Земли на 628 млн. км; угловой диаметр его тогда равен 47",2. Определить отсюда линейный радиус Юпитера.

474. Наименьшее расстояние Венеры от Земли равняется 40 млн. км; в этот момент угловой радиус Венеры равен 32",4. Определить отсюда линейный диаметр этой планеты.

475. Зная, что горизонтальный суточный параллакс Луны равен 57'2",7, а угловой радиус Луны равен 15'32",6, вычислить расстояние до Луны и ее линейный радиус, выраженные в радиусах Земли, а также поверхность и объем Луны, по сравнению с таковыми для Земли.

476. Экваториальный горизонтальный параллакс Солнца равен 8",79 с точностью до 0",01. Указать в процентах и в километрах точность, с которой по этим данным получается расстояние до Солнца.

477. Параллакс Солнца 8",8, а видимый радиус Солнца равен 16'1". Во сколько раз радиус Солнца больше радиуса Земли? Сколько километров составляет диаметр Солнца?

478. Каков угол элонгации Земли от Солнца, если ее наблюдать с ближайшей к нам звезды — α Центавра, параллакс которой равен $0'',75$? Можно ли было бы ее видеть оттуда отдельно от Солнца в телескоп с объективом в 1 м (предполагая, что вопрос о видимой оттуда яркости Земли здесь не играет роли)? Указание: См. введение к разделу XVIII. (BB)

479. Насколько изменится для невооруженного глаза расположение звезд и созвездий, если их наблюдать с Плутона? (BB)

480. Чему равен годичный параллакс Солнца? Каково расстояние от Земли до Солнца в парсеках?

ВТОРОЙ КОНЦЕНТР

481. Чему равен параллакс Луны при ее высоте над горизонтом в 35° ?

482. В момент кульминации наблюденное зенитное расстояние центра Луны было $50^\circ 0',0$. Исправить это наблюдение за влияние рефракции и параллакса.

483. Наблюденное зенитное расстояние z верхнего края Солнца составляет $64^\circ 55' 33''$, видимый радиус Солнца $15' 51''$. Исправив за рефракцию и параллакс, найти геоцентрическое z' центра Солнца.

484. Насколько горизонтальный полярный параллакс, Луны меньше горизонтального экваториального параллакса? То же для Солнца (см. раздел XIV).

485. Центр Земли, центр Луны (имеющей видимый радиус $16'$) и некоторая (весьма далекая) звезда, лежащая на экваторе, находятся на одной прямой. Начиная с какой широты, считая по меридиану, для которого Луна находится в кульминации, звезда будет видна для земного наблюдателя? Параллакс Луны $57'$. (Полак.)

486. Влияет ли суточный параллакс Луны на ее видимый угловой диаметр? (BB)

487. Угловой радиус Луны был найден равным $\rho = 16' 20''$, а параллакс Луны $p = 59' 51''$. Определить видимый радиус Луны, когда ее параллакс был $p = 3422''$.

488. Доказать, что различие в видимом положении Солнца, вызываемое параллаксом для двух наблюдателей, одновременно наблюдающих его с двух станций, имеет максимум, равный $2\rho_0$.

489. Малая планета Адонис может подойти к Земле на расстояние в 15 млн. км и ее параллакс может быть измерен с точностью до $0'',05$. Какова будет в таком случае возможная ошибка в вычисляемом отсюда параллаксе Солнца? (ВВ)

490. Можно ли применить измерения параллакса Юпитера или других более далеких планет к определению расстояния от Земли до Солнца?

491. Замечено, что затмения спутников Юпитера, которые должны повторяться через одинаковые промежутки времени, в действительности наблюдаются все позднее и позднее по сравнению с теорией, по мере того, как Юпитер от положения противостояния переходит к положению соединения с Солнцем. После этого запаздывание уменьшается. К следующему соединению наблюдаемые моменты снова совпадают с теоретическими. Наибольшая величина запаздывания затмений составляет 998 секунд, с возможной ошибкой в 4 секунды. Запаздывание обусловлено изменением расстояний от Земли до Юпитера. На основании этих данных, зная скорость света из лабораторных опытов, определить расстояние от Земли до Солнца. (ВВ)

492. Определить расстояние от Земли до Солнца и его параллакс, зная, что постоянная аберрации равна $20'',47$, скорость света $3 \cdot 10^5$ км/сек, а экваториальный радиус Земли 6378 км. (ВВ)

493. Как из наблюдений лучевых скоростей звезд, лежащих в плоскости эклиптики, определить скорость движения Земли по орбите? (ВВ)

494. Определить расстояние от Земли до Солнца, зная, что наблюдаемые лучевые скорости всех звезд, лежащих на эклиптике, в течение года колеблются в пределах ± 30 км/сек. (ВВ)

495. 3 июня 1769 г. для определения параллакса Солнца способом Галлея наблюдалось прохождение Венеры по диску Солнца.

В Варде (Швеция) прохождение длилось $5^h53^m14^s$, а на островах Таити — $5^h30^m4^s$. На рисунке 20 s — центр Солнца, MN и mn — хорды, пройденные Венерой V по диску Солнца, для наблюдателей, находящихся на Земле в точках A и B . Хорды считаем прямолинейными. Диаметр Солнца $32'$. Из чертежа ясно, что $D : \beta = r_1 : r_2$, где r_1 — расстояние от Солнца до Венеры, а r_2 — расстояние Венеры от Земли. По III закону Кеплера $r_1 : r_2 = 72 : 28$.

Следовательно, параллакс Солнца $p = \beta \frac{r}{d} = D \cdot \frac{28}{72} \cdot \frac{r}{d}$, где r — радиус Земли, а d — длина базиса. В данном случае нужно определить длину базиса, найдя два приведенных пункта наблюдения на карте. При вычислении хорд MN и mn , необходимых для вычисления D , угловую

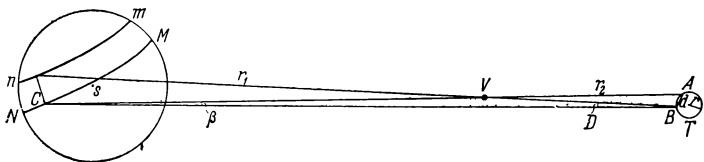


Рис. 20. Определение параллакса Солнца из наблюдений прохождения Венеры по диску Солнца.

скорость движения Венеры по диску Солнца принять равной $240''$ в час. Определить по этим данным параллакс Солнца, ведя вычисление с тремя знаками. (ВВ)

496. Почему для определения параллакса Солнца по способу Галлея используют только Венеру, но не Меркурий?

497. Какую ошибку в определении расстояния до Солнца D вызовет ошибка на 1% в величине отношения массы Земли к массе Солнца в динамическом способе определения солнечного параллакса? Формула этого способа $D^3 = \left(\frac{M + 1}{4\pi^2} \right) f T^2 r$, где M — масса Солнца в массах Земли, f — постоянная тяготения, T — число секунд в году и r — радиус Земли.

498. В момент, когда Луна находится в первой четверти, угол SME (рис. 21) между направлениями с

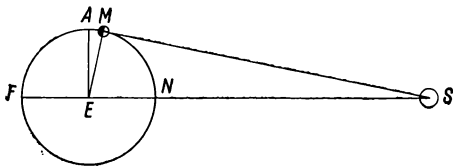


Рис. 21. Метод Аристарха для определения расстояния до Солнца.

Луны M на Солнце S и Землю E равен 90° . Зная из наблюдений, что от новолуния до первой четверти проходит приблизительно на $0,6$ часа меньше, чем от первой чет-

верти до полнолуния, и зная синодический период обращения Луны, оценить расстояние от Земли до Солнца в сравнении с расстоянием от нее до Луны. (AE на рис. 21 есть перпендикуляр к ES .) Этим методом в III в. до н. э. воспользовался греческий астроном Аристарх, впервые сравнив расстояния до Луны и до Солнца. Однако он ошибочно принял указанную разность времен за 12 часов и получил грубо неверный результат. Что получил Аристарх? Во сколько раз Солнце дальше Луны, если для упомянутой разности времен принять истинную ее величину? (ВВ)

499. На рисунке 22, заимствованном из книги Коперника, дан чертеж, поясняющий метод Аристарха для

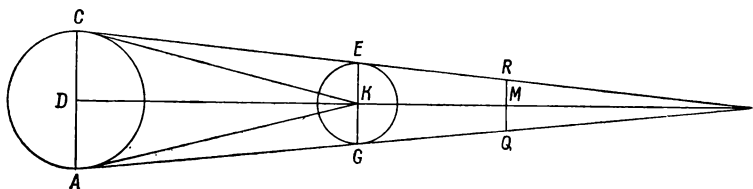


Рис. 22. Метод Аристарха для определения расстояния до Луны.

определения расстояния до Луны (M) в радиусах Земли (KE), зная, что угловые радиусы Луны и Солнца равны $15'$, угловой радиус земной тени на расстоянии Луны (определенный при лунном затмении) $MR = 40'$ и что $\frac{DK}{KM} = 390$. (Аристарх это отношение ошибочно получил равным 19.) Восстановите метод Аристарха и определите расстояние от Земли до Луны KM . На чертеже CA — диаметр Солнца, EG — диаметр Земли и M — Луна. (ВВ)

500. Какие методы определения расстояния от Земли до Солнца не требуют знания размеров Земли?

ВТОРОЙ КОНЦЕНТР (АБЕРРАЦИЯ)

501. Звезда имеет астрономическую широту $\beta = 0$. Указать, в каких точках своей орбиты находится Земля, когда абберрационное смещение этой звезды равно нулю. (Щербаков.)

502. Пусть видимые положения звезды на ее абберрационном эллипсе P и Q , когда Земля находится в пери-

гелии и в афелии. Пользуясь законом площадей Кеплера, доказать, что истинное положение звезды на прямой PQ в точке R таково, что $PR : RQ = (1 + e) : (1 - e)$, где e — эксцентриситет земной орбиты. *Указание:* Можно использовать текст задачи 712 или 713.

503. Вообразите, что Земля движется вокруг Солнца по кругу, но неравномерно. Будет ли абберационная орбита звезды, находящейся в полюсе эклиптики, иметь форму круга? (ВВ)

504. От суточного вращения Земли также происходит абберация, так называемая суточная абберация. Вычислить ее величину для экватора, для которого, как известно, линейная скорость вращения равна $0,464$ км/сек. Чему равна суточная абберация на одном из полюсов Земли?

505. Доказать, что для наблюдателя на широте φ всякая звезда под влиянием суточной абберации описывает эллипс с большой полуосью $\frac{2\pi R}{c} \cos \varphi$, где R — радиус Земли в километрах, а c — скорость света в километрах за сутки. (ВВ)

506. Вывести численную величину наибольшего значения суточной абберации на широте φ для данной звезды. Указать, на какую из экваториальных координат α или δ и в каком положении звезды суточная абберация оказывает наибольшее влияние. (ВВ)

XIV. ЗЕМЛЯ

II

Земля движется вокруг Солнца по эллипсу. В перигелии она бывает около 2 января, в афелии — около 4 июля. Незначительность происходящего вследствие этого изменения в нагревании Земли вызвана малостью эксцентриситета земной орбиты. Решающим при смене времен года является влияние наклона солнечных лучей к поверхности Земли. Однако движение Земли по законам Кеплера (быстрее в перигелии, медленнее в афелии и т. д.) вызывает неравную продолжительность времен года. Большая полуось земной орбиты медленно вращается в пространстве, и оттого с течением времени одно и то же время года наступает, когда Земля находится все в новой и новой точке своей орбиты.

Доказательства движения Земли вокруг Солнца — это явления годичного параллакса и годичной аберрации. К числу доказательств вращения Земли вокруг оси относятся: отклонение падающих тел к востоку и поворот плоскости качаний свободного маятника к западу (опыт Фуко). Величина отклонения падающих тел к востоку составляет в миллиметрах $0,022h \sqrt{h} \cos \varphi$, где φ — широта места наблюдения, h — высота падения в метрах. Плоскость качаний маятника Фуко поворачивается за час на угол $15^\circ \sin \varphi$.

Шарообразность Земли проявляется в увеличении расстояния (D) до линии горизонта с повышением наблюдателя над поверхностью Земли (на h м) по формуле

$$D = 3,57 \sqrt{h},$$

или, с учетом рефракции в земной атмосфере,

$$D = 3,80 \sqrt{h},$$

где D выражено в км. Вместе с тем видимый горизонт понижается, делаясь ниже астрономического на величину x , называемую понижением горизонта:

$$x = 1',93 \sqrt{h},$$

или с учетом рефракции,

$$x = 1',80 \sqrt{h}.$$

Эти величины связаны с радиусом Земли R пропорцией

$$\frac{x}{360^\circ} = \frac{D}{2\pi R}.$$

Для определения радиуса Земли R измеряют длину дуги меридиана S между точками, широты которых φ_1 и φ_2 определяют путем астрономических наблюдений. Очевидно, что

$$\frac{S}{2\pi R} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{360^\circ},$$

откуда находят R . Дугу S измеряют путем особого приема — триангуляции. Он состоит в том, что непосредственно измеряют короткую линию — базис и далее измеряют лишь углы треугольников, сетью которых покрывают все протяжение дуги S . Стороны треугольников и длину дуги S находят после этого вычислением. Из

таких измерений выяснилась сплюснутость Земли у полюсов. Она характеризуется величиной «сжатия», равной $\frac{a-b}{a}$, где a и b — экваториальный и полярный радиусы небесного тела. У Земли сжатие равно $\frac{1}{298}$. Это сжатие есть следствие вращения Земли и возникающей при этом центробежной силы, выражаемой формулой

$$J = m\omega^2 r,$$

где ω — угловая скорость, r — расстояние точки от оси вращения, а m — масса точки. Центробежная сила уменьшает вес тел, вызываемый их притяжением к центру Земли. Ускорение силы тяжести g выводят путем определения периода колебания маятника (T).

Для математического маятника

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

где l — длина маятника. С учетом центробежного ускорения на широте φ

$$g = g_{90} - \omega^2 R \cos^2 \varphi,$$

где g_{90} — ускорение силы тяжести на полюсе. На широте 45° на уровне моря $g = 980,6 \text{ см/сек}^2$. Наблюдаемые значения g не соответствуют указанной формуле, обнаруживая еще большее изменение с широтой. Это происходит от изменения расстояния эллипсоидальной поверхности Земли от ее центра (так как сила притяжения обратно пропорциональна квадрату расстояния) и подтверждает существование сжатия Земли, для которого Клеро вывел формулу

$$\text{сжатие} = \frac{5}{2} \frac{j_0}{g_0} - \frac{g_{90} - g_0}{g_0},$$

где g_{90} и g_0 относятся к полюсу и к экватору, а j_0 — центробежное ускорение на экваторе. Все же между наблюдаемым и вычисленным значениями g существуют небольшие расхождения, обусловленные неравномерностью распределения масс под поверхностью Земли («аномалии силы тяжести») и отклонением самой формы Земли от двухосного эллипсоида.

Отвесная линия не в точности направлена к центру Земли, вследствие того, что Земля не шар, и линия, перпендикулярная к ее поверхности, вообще говоря, не

проходит через центр Земли. Угол между радиусом Земли и плоскостью экватора называется *геоцентрической широтой*.

Угол между плоскостью экватора и нормалью (перпендикуляром) к поверхности земного эллипсоида называется *геодезической, или географической, широтой*. Определяемая из наблюдений высота полюса над горизонтом

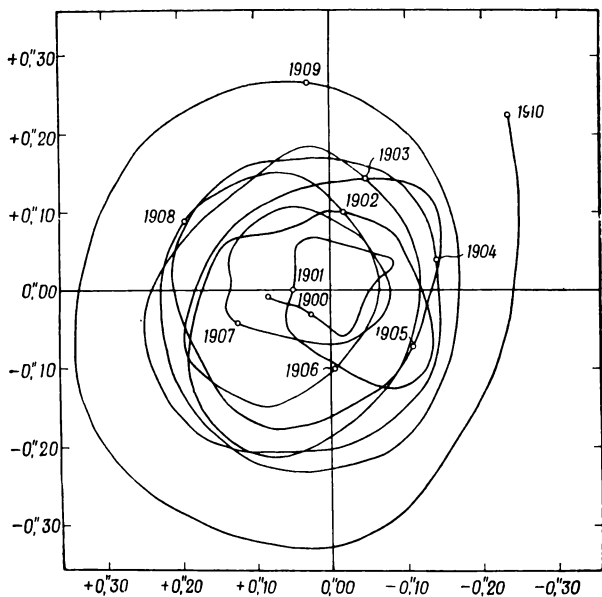


Рис. 23. Движение полюса по поверхности Земли.

называется *астрономической широтой* и соответствует углу между плоскостью экватора и отвесной линией.

Форма Земли несколько отличается от эллипсоида вращения и ее истинная форма называется *геоидом*. Ось Земли немного перемещается в самом теле Земли, что обнаружилось из систематических определений широт обсерваторий, оказавшихся переменными, хотя и в небольших пределах. Полюсы описывают на поверхности Земли линию, изображенную на рисунке 23.

Физические условия на поверхности Земли сильно зависят от свойств окружающей ее атмосферы.

ВТОРОЙ КОНЦЕНТР

507. Как велика скорость движения Земли вокруг Солнца, в предположении, что это движение происходит равномерно по кругу, радиусом 149 600 000 км, с периодом обращения, равным $365\frac{1}{4}$ дня?

508. На сколько изменится продолжительность года, если расстояние Земли от Солнца увеличится на 1 м? Орбитальную скорость Земли считать неизменной. (Перельман.)

509. Вычислить, сколько суток продолжаются в северном полушарии весна, лето, осень, зима. Объяснить неодинаковую продолжительность времен года: почему лето у нас в северном полушарии длиннее зимы?

510. Если бы эксцентриситет земной орбиты равнялся нулю, то в каких отношениях отличались бы времена года от тех, которые существуют в действительности?

511. Как изменились бы времена года, если бы эксцентриситет земной орбиты увеличился до 0,5?

512. Если бы ось вращения Земли была перпендикулярна к плоскости эклиптики, как это повлияло бы на продолжительность дня в разных точках Земли в разное время года? Как это повлияло бы на времена года и на климаты Земли?

513. При каком наклоне земной оси к плоскости ее орбиты южный полярный круг совпал бы с тропиком Козерога? (Щербаков.)

514. Через сколько времени Земля будет проходить через перигелий 1 июля вместо 2 января, как это имеет место теперь, если тропический год равен $365^d5^h48^m46^s$, а аномалистический год (промежуток времени между двумя прохождениями Земли через перигелий) равен $365^d6^h13^m48^s$?

515. С какой скоростью (в метрах в секунду) движется Ленинград ($\varphi = 59^\circ57'$) вследствие суточного вращения Земли? Средний радиус Земли $R = 6371$ км.

516. Каковы скорости точек земной поверхности вследствие суточного движения Земли: а) на экваторе; б) на широте $\varphi = 48^\circ24'$, если радиус земного шара равен 6371 км?

517. На какой широте находится место, движущееся при суточном вращении Земли вдвое медленнее Москвы ($\varphi = 56^\circ$)? Вдвое скорее Мурманска ($\varphi = 69^\circ$)? (Каменьщиков.)

518. Если суточное вращение Земли с течением веков постепенно замедляется, как это недавно действительно установлено, то как будут по часам протекать астрономические явления — быстрее или медленнее, чем прежде?

519. Если бы вращалась не Земля, а небо, то какую скорость должна была бы иметь при своем суточном движении вокруг Земли звезда α Центавра, от которой свет доходит до нас в 4 года и склонение которой равно -60° .

520. На какой широте отклонение к востоку тела, падающего с данной высоты, будет наибольшим?

521. Вычислить величину отклонения к востоку тела, падающего с башни высотой в 100 м, построенной на экваторе.

522. Вычислить величину отклонения маятника Фуко за час на широтах 30° , 60° , 45° , 75° , 89° , 90° , 0° и в вашем городе.

523. Два корабля x и y идут: первый вдоль параллели 48° северной широты, второй вдоль параллели 15° южной широты, причем оба в каждый момент времени находятся по долготе на одном и том же меридиане. Какова скорость корабля x , если скорость корабля y есть 15 узлов (т. е. 15 морских миль в час; морская миля есть длина дуги одной минуты экватора).

524. Можно ли в ясную погоду увидеть с Эльбруса (высота 5630 м) берега Крыма, отстоящие от него на 600 км?

525. Какова дальность горизонта с вершины самой высокой из земных гор — Эвереста, высотой 8840 м?

526. С какого расстояния мореплаватель увидит огонь маяка, стоящего на высоте 100 м над уровнем моря?

527. Какова была дальность горизонта для экипажа советского стратостата, когда он поднялся на высоту 22 км? Какова эта дальность для человека, стоящего в степи (рост 1,7 м)? (ВВ)

528. Чему равно понижение горизонта, если наблюдатель смотрит на море с гребня Яйлы (в Крыму) высотой в 1000 м?

529. Два наблюдателя в сентябре, находясь на экваторе, наблюдают заход Солнца. Один из них наблюдает со шлюпки, другой — с самолета, поднявшегося на высоту 10 км. На сколько позднее зайдет Солнце для пилота самолета?

530. Определить радиус Земли, если с горы высотой в 1000 м понижение горизонта составляет $1^{\circ},01$. Указание: Рефракцию в земной атмосфере не учитывать.

531. Вычислить длину морской мили, равную длине дуги одной минуты экватора, зная, что длина экватора равна 40 076 594 м.

532. Во время знаменитого градусного измерения дуги меридиана, произведенного нашими пулковскими астрономами под руководством В. Я. Струве, было установлено, что расстояние между Фугленессом ($\varphi = 70^{\circ}50'$) и Старо-Некрасовкой ($\varphi = 45^{\circ}20'$) равно 2822 км. Определить отсюда земной радиус, принимая Землю за шар. (Блажко.)

533. В результате Лапландской и Перуанской градусных экспедиций в 1736 г. и измерений Пикара во Франции в 1677 г. получено для длины одного градуса:

в Перу	($\varphi = - 2^{\circ}$)	110 578 м
во Франции	($\varphi = + 49^{\circ}$)	111 213 »
в Лапландии	($\varphi = + 66^{\circ}$)	111 950 »

Вычислить радиус кривизны Земли для широты Перу, Франции и Лапландии.

534. Накаплиются ли ошибки при триангуляции вместе с длиной измеренного расстояния? Возрастают ли абсолютные ошибки в астрономическом определении угловой длины дуги вместе с ее длиной?

535. Насколько точно должен быть измерен базис длиной в 10 км чтобы неточность его измерения не могла в определение окружности Земли внести ошибку более чем в 100 м?

536. Если Землю представить глобусом с диаметром в 3 м, как выразится тогда сжатие Земли?

537. Ньютоново доказательство сжатия Земли предполагает заранее, что Земля вращается. Какие доказательства не зависят от этого предположения?

538. Два одинаковых поезда идут с одинаковой скоростью в противоположные стороны — один с востока на запад, другой с запада на восток. Какой из поездов тяжелее? (Перельман.)

539. Как велико центробежное ускорение тела, помещенного на земном экваторе на уровне моря? Радиус Земли $R = 6\,378$ км, время ее вращения $T = 86\,164$ ср. солн. сек.

540. Как велико ускорение земной тяжести на экваторе, если секундный маятник имеет там длину $l = 991,03$ мм?

541. Ускорение земной тяжести равно $9,781 \text{ м} \cdot \text{сек}^{-2}$ (g_0) на экваторе и $g = 9,781 (1 + 0,00512 \sin^2 \varphi)$ на широте φ . Вычислить длину секундного маятника в Днепропетровске ($\varphi = 48^\circ 20'$).

542. Принимая длину градуса меридиана за 111,7 км, определить приблизительно линейную амплитуду колебаний полюса по земной поверхности, согласно рисунку 23 (стр. 103), где по осям координат нанесены в угловой мере отклонения полюса от его среднего положения.

543. Если бы земная поверхность была лишена воды, каково было бы влияние этого на среднюю температуру, на суточный ход температуры в каком-либо месте и на ход ее на всей поверхности Земли?

544. Если предположить, что масса земной атмосферы уменьшилась, то каково будет влияние этого на среднюю температуру, на суточный ход ее в каком-либо месте и на ход ее на всей поверхности Земли?

545. Сравнить яркость освещения равновеликих площадей на экваторе, тропике Рака и северном полярном круге во время равноденствий в полдень, когда Солнце достигает в соответствующих местах своей наибольшей высоты над горизонтом.

546. Каково должно быть теоретическое отношение нагреваний горизонтальной почвы в полдень в Саратове ($\varphi = 51^\circ 32'$), в дни 22 июня и 23 сентября? (ВВ)

547. Сравнить количества тепла, получаемые почвой в дни летнего и зимнего солнцестояний для местностей, лежащих на широтах 65° , 45° , $23\frac{1}{2}^\circ$ и 0° . Полученные для каждого места отношения сравнить между собой и сопоставить с данными, известными из географии (ВВ).

548. Сравнить отношения количеств теплоты, получаемых на единицу поверхности в Москве ($\varphi = 55^\circ 45'$) в дни летнего и зимнего солнцестояний и в дни прохождения Земли через перигелий (зимой) и через афелий (летом). Эксцентриситет земной орбиты $e = 0,017$. Во сколько раз влияние наклона солнечных лучей больше влияния изменения расстояния от Солнца (в Москве)? (ВВ)

549. Каково прямое восхождение точки на небесной сфере, по направлению к которой движется по орбите Земля 21 июня?

550. Какое из доказательств обращения Земли около Солнца дает также и размеры ее орбиты?

551. Определить эксцентриситет e земной орбиты, зная из наблюдений, что наибольший видимый диаметр Солнца $p = 32'36'',4$, а наименьший $q = 31'31'',8$. (ВВ)

552. Чем объяснить следующее явление: с января до июля мы ближе к Солнцу в полдень, чем вечером, а с июля до января мы ближе к нему вечером? (Перельман.)

553. Каково соотношение площадей трех основных климатических поясов Земли: тропического, умеренного и полярного?

554. Влияет ли на продолжительность времен года на Земле вековое движение перигелия ее орбиты, вызываемое возмущениями планет? (ВВ)

555. Зная, что продолжительность сидерического года, в который Земля совершает полное обращение (360°) вокруг Солнца относительно звезд, равняется $365,25636$ средних суток и что перигелий земной орбиты относительно звезд движется поступательно ежегодно на $0^\circ,0033$, найти отсюда длину аномалистического года (т. е. промежуток времени между двумя последовательными прохождением Земли через перигелий). Определить промежуток времени, через который линия апсид земной орбиты придет в прежнее свое положение, т. е. совершит оборот в 360° .

556. Для воспроизведения опыта Фуко служит физический маятник, состоящий из тонкой проволоки и латунного шара. Весом проволоки можно пренебречь в сравнении с весом шара $m = 28$ кг, находящегося на расстоянии $K = 53$ м от оси вращения; удельный вес латуни $\delta = 8,4$. На каком расстоянии находится центр качания маятника от центра шара?

557. Доказать, что расстояние между двумя морскими портами A и B , лежащими на широте 60° и имеющими разность долгот 60° , короче по дуге большого круга, чем по дуге параллели 60° . Указания: Воспользуйтесь для доказательства рисунком 24. Средний радиус Земли $R = 6371$ км.

558. Летчику надо знать расстояние между городами A и B для того, чтобы рассчитать запас горючего. Их географические координаты: $\varphi_1 = 24^\circ 18'$, $\lambda_1 = 133^\circ 30' \text{E}$, $\varphi_2 = 36^\circ 47'$, $\lambda_2 = 125^\circ 24' \text{W}$. Указания: Землю принять за шар радиусом 6371 км. Вычисления производить с пятизначными логарифмами.

559. Корабль из порта с координатами $\varphi = 38^\circ 42',5$; $\lambda = 9^\circ 11',5 \text{E}$ идет по дуге большого круга к экватору,

O — наблюдатель, HK — его горизонт, а h — высота искомого слоя атмосферы MLN . Угол α — отрицательная высота Солнца в конце сумерек. (BB)

573. На какой высоте находятся слои воздуха, производящие своим рассеянием солнечного света гражданские сумерки, если последние кончаются при глубине Солнца под горизонтом $6^\circ,5$? (BB)

574. На один квадратный сантиметр поверхности, перпендикулярной к солнечным лучам, на среднем расстоянии Земли от Солнца падает 2 калории в минуту («солнечная постоянная»). Земля отражает 37% падающей на нее энергии обратно в пространство (преимущественно благодаря облакам). Зная радиус Земли R и принимая ее за абсолютно черное тело, вычислить среднюю температуру Земли T , применяя закон Стефана — Больцмана $E = 5,72 \cdot 10^{-5} T^4$, где E — энергия в эргах, излучаемая 1 см^2 абсолютно черного тела в 1 секунду. Механический эквивалент тепла $q = 4,19 \cdot 10^7$. Сравнить полученную величину с действительной средней температурой Земли ($+ 14^\circ \text{C}$). (BB)

XV. ДВИЖЕНИЕ И ФАЗЫ ЛУНЫ

Изменение лунных фаз происходит потому, что на освещенную Солнцем половину лунного шара мы смотрим с различных сторон в течение обращения Луны вокруг Земли. Период обращения Луны около Земли — это *звездный* или *сидерический месяц*; он равен, в среднем, 27,32 суток. Промежуток времени между двумя одинаковыми фазами Луны — это *синодический месяц*; он равен в среднем 29,53 суток. Он длиннее сидерического за счет движения Земли вокруг Солнца. Плоскость лунной орбиты пересекает эклиптику под углом около $5^\circ 8'$. Луна движется на фоне звезд по линии, представляющей проекцию ее орбиты на небесную сферу. Это движение происходит со скоростью $13^\circ 10' 35''$ за средние солнечные сутки. За час Луна перемещается приблизительно на $\frac{1}{2}^\circ$ или на величину своего углового диаметра. При своем движении по небу Луна может загораживать от нас звезды (тогда происходят *покрытия звезд Луной*). Лунные сутки, или промежуток времени между кульминациями Луны, равняются $24^{\text{ч}} 51^{\text{м}}$ (в среднем). Луна вращается вокруг своей оси с тем же периодом, что и обращается вокруг Земли.

Луна движется около Земли по эллипсу, согласно законам Кеплера. *Перигей* — самая близкая к Земле точка ее орбиты, *апогей* — самая далекая. Линия, соединяющая эти две точки (*линия апсид*), вращается в пространстве в плоскости лунной орбиты к востоку, делая один полный оборот приблизительно в 9 лет.

Линия узлов лунной орбиты (линия пересечения плоскости лунной орбиты с плоскостью эклиптики) вращается к западу (в плоскости эклиптики) с периодом в $18\frac{2}{3}$ лет.

Поэтому *узлы* лунной орбиты, т. е. точки небесной сферы, в которых Луна пересекает эклиптику, смещаются непрерывно к западу. Промежуток времени между прохождениями Луны через один и тот же узел называется *драконическим месяцем*, он равен 27,21 суток. Им обусловлена повторяемость затмений.

Неравномерность движения Луны по орбите, при ее равномерном вращении вокруг оси, наклон оси к орбите, наклон орбиты к эклиптике, явление параллакса и другие причины позволяют нам по временам заглядывать немного на другую сторону Луны, вообще говоря, всегда отвернутую от Земли. Эти явления называются *либрациями*.

ПЕРВЫЙ КОНЦЕНТР

575. Сколько времени потребовалось бы пушечному снаряду, чтобы пролететь пространство, равное расстоянию от Земли до Луны (384 400 км), если бы начальная скорость снаряда (800 м/сек) оставалась неизменной?

576. Как объяснить происхождение выражения «первая четверть» Луны?

577. Прибывает или убывает Луна, когда выпуклая часть Луны расположена вправо от диаметра, соединяющего острия серпа Луны? Когда она расположена влево от этого диаметра? (Наблюдатель находится в северных широтах.)

578. Может ли звезда наблюдаться между рогами серпа Луны?

579. Чем определяется направление рогов серпа молодой Луны?

580. Почему перпендикуляр к линии, соединяющей рожки лунного серпа, как часто кажется, не проходит через Солнце? (Шерельман.)

581. Можно ли где-нибудь на Земле видеть серп Луны заходящим в море в виде лодочки, рогами кверху? (ВВ)

582. Какую фазу Земли видел бы воображаемый житель Луны во время новолуния? во время полнолуния? Какова вообще зависимость между фазами Луны и фазами Земли?

583. Первая четверть Луны наблюдалась 25 декабря. Каков был возраст Луны 25 декабря следующего года?

584. Учитывая наклон лунной орбиты к эклиптике, указать пределы изменения склонения Луны.

585. Учитывая наклон лунной орбиты ($5^{\circ}8'$), вычислить максимальную возможную высоту Луны над горизонтом в Мурманске ($\varphi = 68^{\circ}58'$), Москве ($\varphi = 55^{\circ}45'$) и Ташкенте ($\varphi = 41^{\circ}20'$).

586. Может ли Луна стоять в зените у нас в СССР? На каких широтах это возможно?

587. В каких пределах меняется азимут точки восхода Луны для наблюдателя, живущего на экваторе Земли? (ВВ)

588. Почему серп «молодого месяца» особенно высоко стоит на небе весной?

589. Почему Луна «на ущербе» (после полнолуния) весной видна плохо, а осенью, наоборот, хорошо, т. е. рано восходит и высоко поднимается?

590. Луна в первой четверти видна на меридиане. Какой приблизительно час?

591. Луна в марте восходит во время полнолуния. Какой приблизительно час?

592. В какой фазе находится Луна, если она кульминирует в 6 часов вечера по истинному солнечному времени? В какой фазе, — если она кульминирует в полночь по истинному солнечному времени?

593. В котором приблизительно часу, в какое время года Луна в момент кульминации занимает наиболее высокое положение над горизонтом: а) когда она полная, б) когда она в первой четверти, в) когда она в последней четверти, г) когда виден вечерний «пепельный свет» Луны?

594. В какое время года у нас в северном полушарии в полнолунии Луна дольше всего остается над горизонтом? В какое время года в новолунии Луна остается у нас дольше всего над горизонтом?

595. Где на Земле приблизительно и в какое время года Луна может в полнолуние оставаться больше суток над горизонтом?

596. Видна ли Луна в июньское полнолуние на Северном полюсе?

597. Можно ли где-либо и когда-либо на Земле в течение двух недель при совершенно ясной погоде ни разу не увидеть Луны? (ВВ)

598. Каждый ли день Луна восходит?

599. Если бы звездный месяц составлял 60 суток, каков был бы промежуток времени между двумя последовательными кульминациями Луны?

600. Во время «покрытия звезды Луной» звезда была скрыта в течение 20 минут. Было ли покрытие центральным? *Указание:* Диаметр Луны принять равным $1/2^\circ$. (Набоков и Воронцов-Вельяминов.)

601. Среднее суточное движение Луны равно $13^\circ 10' 35''$. Какова средняя длина сидерического месяца?

602. Какова была бы продолжительность синодического месяца, если бы звездный месяц составлял 60 суток?

603. Как происходило бы видимое суточное движение Луны, если бы ее сидерический месяц в точности равнялся звездным суткам? Как происходило бы оно, если бы сидерический месяц был меньше звездных суток, например, равнялся бы 20 часам? (Каменьщиков.)

604. Каков был бы синодический период обращения Луны P , если бы она обращалась вокруг Земли с востока на запад с той же скоростью, что и сейчас?

ВТОРОЙ КОНЦЕНТР

605. Зная угол между направлениями с Земли на Луну и на Солнце, вывести формулу, устанавливающую долю диаметра Луны, перпендикулярного к линии, соединяющей ее рога, и измеряющего ширину освещенной части Луны. *Указание:* Направления на Солнце с Земли и с Луны считать параллельными (они отличаются менее, чем на $9'$).

606. Доказать, что видимый лунный терминатор (граница освещенной и темной ее частей) есть полуэллипс, если пренебрегать явлениями параллакса.

607. Каково может быть угловое расстояние Луны от Солнца: а) в противостоянии, б) в соединении, в) в квадратуре?

608. Указать главную причину того, что от новолуния до полнолуния проходит иногда на сутки больше, чем от этого полнолуния до следующего новолуния.

609. Если Луна взошла в $8^{\text{ч}}45^{\text{м}}$ вечера, то когда приблизительно она взойдет следующий раз? Как изменится (качественно) это время, если склонение Луны в это время увеличивается?

610. При каких условиях суточное запаздывание восхода полной Луны незадолго до осеннего равноденствия будет наименьшим?

611. В календаре указаны фазы Луны:

19 марта, 15 июня, 12 сентября	первая четверть
23 июня, 17 декабря	полнолуние
5 марта, 27 сентября, 24 декабря	последняя четверть

Указать, приблизительно, в какое время суток в эти дни свет Луны мешает наблюдению слабых звезд.

612. Какова наименьшая широта, на которой с Земли можно видеть Луну (без учета рефракции и параллакса) над горизонтом 48 часов непрерывно?

613. В каком месте Земли Луна восходит в два последующих дня в один и тот же момент звездного времени?

614. Как происходит движение Луны для наблюдателя, находящегося на Северном полюсе?

615. В июне некоторого года полная Луна в момент кульминации наблюдалась в Симферополе ($\varphi = 45^\circ$) на высоте 16° над горизонтом. Может ли случиться, что когда-нибудь в этом городе в июне полная Луна будет кульминировать на высоте 26° ? Если да, то чем это объяснить и через сколько лет это случится? (ВВ)

616. Почему Луна непременно покрывает при своем движении по небесной сфере любую звезду, имеющую астрономическую широту $+6^\circ38'$? Указание: Наклон лунной орбиты принять равным $5^\circ20'$, что представляет наибольшее возможное значение этой переменной величины.

617. Вычислить продолжительность аномалистического месяца (промежуток времени между прохождениями Луны через перигей) или период либрации по долготе (до сотых долей суток), зная, что перигей лунной орбиты движется все время к востоку и полный оборот совершает за 3232 суток (около 9 лет). (Полак.)

618. Благодаря суточному вращению Земли наблюдатель видит Луну при восходе и заходе несколько иначе, чем при кульминации, заглядывая немного на другую сторону Луны (параллактическая либрация). Какова в лунных селеноцентрических градусах наибольшая ширина этой добавочной полосы, если экваториальный

горизонтальный параллакс Луны равен $57'$? *Указание:* Полезно сделать чертеж. (ВВ)

619. Вычислить период либрации по широте (драконический месяц). Почему драконический месяц D короче звездного S , а аномалистический длиннее? (Полак.)

ХVI. ЗАТМЕНИЯ

Лунное затмение может быть лишь в полнолуние, при том условии, что оно происходит вблизи узла лунной орбиты (вблизи плоскости эклиптики); солнечное затмение может быть лишь в новолуние и при том же условии. Эти условия повторяются два раза в год с промежутком времени около полугода. Благодаря движению узлов лунной орбиты этот промежуток на 10 дней короче полугода. В каждом из двух периодов затмений в течение года может быть максимум по три затмения (солнечное, лунное, солнечное), причем, как минимум, одно солнечное и ни одного лунного, а всего за год бывает от 2 до 7 затмений. Сечение тени Земли на расстоянии Луны больше поперечного сечения Луны. Попад в земную тень, Луна отовсюду с соответствующего полушария Земли видна в затмении одновременно. *Полное солнечное затмение* видно лишь там, где на Землю падает небольшое пятно лунной тени; в разных местах Земли оно видно разновременно — по мере того, как эти места последовательно попадают в тень. Там, где на Землю падает полутень Луны, происходит *частное солнечное затмение*. Если Луна при затмении Солнца находится в апогее, то она кажется меньше Солнца и производит лишь *кольцеобразное солнечное затмение*. Ширина полосы, которую тень Луны чертит по Земле и в которой наблюдается полное затмение, узка и потому в любом данном месте солнечные затмения видны реже лунных, тогда как для Земли в целом дело обстоит наоборот.

В течение 18 лет 11 дней (или 10 дней, если високосный год в этом промежутке был 5 раз) Солнце 19 раз проходит через узлы лунной орбиты (19 драконических лет), что равно 242 драконическим месяцам или 223 синодическим месяцам. Поэтому по истечении 18 лет 11 дней взаимные расположения Солнца, Земли и Луны повторяются и повторяется характер затмений, хотя солнечные затмения становятся видимы при этом в других местах. Этот период называется *саросом*.

Условия наступления затмений определяются наклоном лунной орбиты к эклиптике, видимыми диаметрами Луны и Солнца (их параллаксами), скоростью движения лунных узлов и многими другими причинами.

ПЕРВЫЙ КОНЦЕНТР

620. Что видит космонавт, находящийся на Луне, во время солнечного затмения?

621. Когда наблюдатель на Луне видит частное затмение Солнца Землей? Что видит в это время земной наблюдатель?

622. Почему не может быть кольцеобразного затмения Луны?

623. Какие признаки отличают неполные фазы затмения Луны от обычных ее фаз?

624. Может ли полное лунное затмение наблюдаться в местный полдень?

625. Бывают случаи, когда Луна, находящаяся в полном затмении, восходит раньше захода Солнца, так что оба светила видны одновременно, и, следовательно, Солнце должно быть видно с Луны, а между тем Луна в затмении. Как это объяснить?

626. Может ли середина полного затмения Луны наблюдаться в 4 часа утра по местному времени?

627. Полное лунное затмение началось в $1^{\text{h}}44^{\text{m}},6$ ночи по пулковскому времени. Когда это произошло по местному московскому времени, если долгота Москвы относительно Пулкова $29^{\text{m}},0$ к востоку?

628. Если в текущем году лунное затмение произошло в августе, может ли в июле следующего года произойти другое лунное затмение? Может ли оно произойти в октябре текущего года, и если нет, то почему?

629. При каких условиях центральное полное лунное затмение будет иметь наибольшую продолжительность? (ВВ)

630. Может ли произойти покрытие Юпитера Луной во время затмения Луны? А покрытие Венеры?

631. Какие затмения, солнечные или лунные, чаще наблюдаются в Киеве? в Иркутске?

632. Может ли на Земле наблюдаться солнечное затмение в полночь?

633. Почему во время частных фаз солнечного затмения пятна света в тени ливны имеют форму серпов?

634. Какой край солнечного диска, восточный или западный, впервые соприкасается с Луной при затмении Солнца?

635. Может ли произойти кольцеобразное затмение Солнца, когда Луна во время затмения находится в перигее? в апогее?

636. Во сколько раз ослабляется свет Солнца при самом ярком кольцеобразном затмении? *Указание:* Угловые диаметры Солнца и Луны для этого случая можно принять соответственно равными $32',6$ и $29',4$ поверхность Солнца считать равномерно яркой. (Полак.)

637. Что происходило бы при каждом новолунии, если бы плоскость орбиты Луны совпадала с плоскостью орбиты Земли?

638. Как изменились бы условия наступления затмений, если бы узлы лунной орбиты перестали перемещаться, а наклон лунной орбиты возрос бы до 30° ? (ВВ)

639. Где можно видеть чаще затмения — в полярных областях Земли (до полярных кругов) или в экваториальной области (между тропиками)? Условия облачности в расчет не принимаются. (ВВ)

640. В год Великой Октябрьской социалистической революции (1917 г.) наблюдались следующие затмения:

Полное лунное затмение 8 января, видимое в Америке.

Частное затмение Солнца 23 января, видимое в Восточной Европе и в Восточной Сибири.

Частное затмение Солнца 19 июня, видимое в Северной полярной области.

Полное лунное затмение 4 июня, видимое в Европе.

Частное затмение Солнца 19 июля, видимое в Антарктике.

Кольцеобразное затмение Солнца 14 декабря, видимое на Южном полюсе Земли.

Полное затмение Луны 28 декабря, хорошо видимое в Америке.

В 1935 г. произошли следующие затмения:

Частное затмение Солнца 5 января, видимое в южном полушарии.

Полное затмение Луны 19 января, видимое в СССР.

Частное затмение Солнца 3 февраля, видимое в Северной Америке.

Частное затмение Солнца 30 июня, видимое на Крайнем Севере СССР.

Полное затмение Луны 16 июля, видимое в Америке. Частное затмение Солнца 30 июля, видимое в Атлантическом океане.

Кольцеобразное затмение Солнца 25 декабря, видимое на Южном полюсе.

8 января 1936 г. наблюдалось еще полное лунное затмение, видимое в СССР.

Сравнить эти два цикла затмений и проверить, соблюдается ли для них период сароса. Проследить, как меняются условия видимости затмений. Объяснить, почему промежуток между четвертым и пятым затмениями в 1935 г. как будто больше. *Указание:* Учесть, что даты даны по мировому времени и что часы затмений здесь не приведены. (ВВ)

641. В 1941 г. было два солнечных и два лунных затмения, а именно: 13 марта — частное лунное, 27 марта — кольцеобразное солнечное, 5 сентября — частное лунное и 21 сентября — полное солнечное затмение. Предсказать, на основании сароса, когда в ближайшем времени эти затмения повторятся и когда эти затмения уже происходили?

642. Определить по какой-либо карте полосы полного затмения Солнца, когда по местному времени была середина затмения и какова была величина наибольшей его фазы в Москве. Определить то же для Горького, Омска и Туапсе. *Указание:* Такие карты помещены в учебнике по астрономии для средней школы и в ряде выпусков астрономического календаря.

ВТОРОЙ КОНЦЕНТР

643. Один путешественник утверждал, что он видел, как во время солнечного затмения ущербление диска наблюдалось прямо снизу. Могло ли в действительности наблюдаться подобное явление, а если да, то где и в какое время? (ВВ)

644. Может ли тень Луны при солнечном затмении где-нибудь и когда-нибудь перемещаться к западу по поверхности Земли?

645. Почему в течение календарного года не может быть 8 затмений? (Полак.)

646. Пользуясь рисунком 26, где O и E — центры Солнца и Земли, выразить длину конуса земной тени $EC = l$ через радиусы Солнца и Земли R и r и расстоя-

ние от Земли до Солнца $OE = \Delta$. Выразить также эту длину через r , видимый угловой радиус Солнца S и солнечный параллакс p . (ВВ)

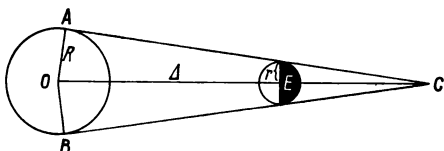


Рис. 26.

647. Пусть радиус Земли будет r , радиус Солнца — $R = 109 r$, расстояние между центрами этих двух небесных тел $L = 23\,680 r$, расстояние Луны от центра Земли $l = 60 r$. Определить радиус y нормального сечения полной тени Земли на расстоянии l от центра Земли.

648. Даны следующие величины:

Расстояние Солнца от Земли	$R = 15 \cdot 10^7$ км
Расстояние Луны от Земли	$l = 36 \cdot 10^4$ км
Диаметр Солнца	$a = 14 \cdot 10^5$ км
Диаметр Луны	$b = 35 \cdot 10^2$ км

На основании этих данных вычислить, какую площадь в квадратных километрах занимает на Земле пятно тени полного солнечного затмения (считая земную поверхность плоской).

649. Если в данных предыдущей задачи все останется без изменения, и только расстояние между Луной и Землей станет $38 \cdot 10^4$ км, то возможно ли будет полное солнечное затмение при этих новых условиях?

650. Вычислено, что большая полуось лунной орбиты постепенно увеличивается. Когда она увеличится на 10%, будут ли происходить на Земле полные солнечные затмения? (ВВ)

651. Для затмения Солнца необходимо, чтобы Луна задела конус $ABDC$ (рис. 27), заключающий Солнце S и Землю E . В предельном случае угол между центрами Луны M и Солнца S , усматриваемый из центра Земли, равен MES . Он составляется из угла MEF (равного угловому радиусу Луны), угла $AES = R$ (равного угловому радиусу Солнца) и угла FEA . Последний равен разности углов CFE и FAE , соответственно равных горизонтальным параллаксам Луны и Солнца. Следовательно, $MES = r + R + P - p$ и благодаря изменению

654. Зная из предыдущей задачи, что угол MEN равен $41'9''$, определить A — предельное расстояние Луны от узла ее орбиты, при котором лунное затмение возможно. *Указание:* Учесть, что угол i есть соответствующее предельное расстояние центра Луны от эклиптики. Наклон лунной орбиты $i = 5^\circ 9'$. (ВВ)

ХVII. ТЯГОТЕНИЕ

I

Законы движения небесных светил являются следствием их взаимодействия по закону *всемирного тяготения*.

Сила тяготения между двумя точками с массами m_1 и m_2 на расстоянии r друг от друга выражается формулой

$$F = f \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2},$$

где коэффициент f (он иногда обозначается k^2) называется *постоянной тяготения*, или *гравитационной постоянной*. В системе единиц CGS $f = 6,673 \cdot 10^{-8}$. Если за единицу массы взять массу Солнца, за единицу расстояния — большую полуось земной орбиты, а за единицу времени — средние солнечные сутки, то получающиеся тогда значение $k = \sqrt{f}$ называется гауссовой постоянной, $k = 0,01720210 \approx 1/58$.

Ускорение g , которое тело массы M сообщает телу массы m на расстоянии r , выражается формулой

$$g = f \frac{M}{r^2}.$$

Если принимать небесные тела за шары с плотностью, растущей к центру, то они притягивают точки, находящиеся на их поверхностях или дальше, так, как если бы вся их масса была сосредоточена в их центре.

Из закона всемирного тяготения третий закон Кеплера получается в более точной форме, чем это непосредственно было получено из наблюдений самим Кеплером:

$$\frac{a^3}{a_1^3} = \frac{T^2 (M + m)}{T_1^2 (M + m_1)},$$

где M — масса центрального тела, m и m_1 — массы об-

рашающихся вокруг него тел с периодами T и T_1 по эллипсам с большими полуосями a и a_1 . Это соотношение сохраняет свою силу, если a , T , m и M в числителе отнести к одной паре тел (например к Солнцу и к Земле), а a_1 , T_1 , m_1 и M в знаменателе отнести к другой паре тел (например к Нептуну и к его спутнику). Отсюда оказывается возможным определять массы небесных тел по отношению к массе Земли или к массе Солнца. Для этого сравнивают движение Луны около Земли (или движение Земли около Солнца — во втором случае) с движением спутника около планеты, массу которой определяют, и при этом массами спутников в сравнении с массой центрального тела пренебрегают. Тогда масса планеты $M_{\text{п}}$ получается по формуле

$$M_{\text{п}} = \frac{T^2}{T_1^2} \cdot \frac{a_1^3}{a^3} M,$$

где T_1 и a_1 — период и расстояние спутника планеты. Если M — масса Земли, то T и a относят к Луне, а если M — масса Солнца, то T и a относят к Земле.

Если движение планеты (или спутника) считать круговым, то ускорение действующего на него тяготения равно центростремительному (или центробежному) ускорению $\omega^2 r$, где ω — угловая скорость, а r — радиус орбиты.

II

Скорость v при движении тела массы m под действием тяготения по орбите с большой полуосью a на расстоянии r от центрального тела находится по формуле

$$v^2 = k^2 (M + m) \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right),$$

где M — масса центрального тела. Если m значительно меньше M , то его можно принять в формуле за нуль. Вместе с тем отсюда следует, что если скорость тела на данном расстоянии r будет v , то от этой скорости (и только от нее) будет зависеть большая полуось орбиты a , которую будет описывать это тело. Обозначим $k^2 (M + m)$ через μ . Тогда

$v_{\text{к}} = \sqrt{\frac{\mu}{a}}$ будет скоростью движения по кругу радиуса a (круговая скорость);

$v_{\text{п}} = \sqrt{\frac{2\mu}{r}}$ будет скоростью на расстоянии r при движении по параболе.

При $v_{\text{к}} < v < v_{\text{п}}$ тело описывает эллипс.

При $v > v_{\text{п}}$ тело описывает гиперболу.

Для того чтобы предмет мог улететь в бесконечность с поверхности планеты, ему надо сообщить скорость, равную или большую, чем $v_{\text{п}}$, соответствующую поверхности планеты. Если предмету сообщить скорость, касательную к радиусу планеты и равную $v_{\text{к}}$ (при a , равном радиусу планеты), этот предмет станет обращаться вокруг планеты близ самой ее поверхности.

Второй закон Кеплера математически выражается формулой

$$\frac{1}{2} r^2 \frac{dv}{dt} = \text{const},$$

где левая часть представляет так называемую секториальную скорость, r — радиус-вектор тела, движущегося по любой орбите под действием тяготения к некоторому центру, а v — его истинная аномалия.

Если рассматривать движение относительно центрального тела, то можно сказать следующее. Возмущающая сила третьего тела представляет геометрическую разность сил, с которыми это тело действует на возмущаемое и на центральное тело. Она меняется обратно пропорционально кубу расстояния между возмущаемым телом и возмущающим.

Приливная сила в некоторой точке поверхности планеты (сила, вызывающая приливы и отливы) представляет разность сил, с которыми тело, вызывающее приливы, притягивает к себе центр и эту точку поверхности планеты. Приливная сила также обратно пропорциональна кубу расстояния.

ПЕРВЫЙ КОНЦЕНТР

655. Что больше: ускорение, сообщаемое Землей Солнцу, или ускорение, сообщаемое Землей Луне, и во сколько раз?

656. Массы Земли и Луны относятся как 81 : 1. Расстояние между их центрами равно 382 420 км. Где расположен их общий центр тяжести?

657. Два небесных тела A и B имеют массы m и m' ; их взаимное расстояние равно r . В какой точке прямой, со-

единяющей их центры, какое-либо тело будет ими притягиваться с одинаковой силой? Пример: *A* — Земля, *B* — Луна: их расстояние равно 60 земным радиусам; масса Луны составляет $\frac{1}{81}$ массы Земли.

658. Вывести формулу, выражающую в сутках время падения t любого небесного тела на свое центральное светило, уподобляя это падение движению кометы по очень вытянутому эллипсу с большой осью орбиты равной начальному расстоянию между телами a . (ВВ)

659. Сколько времени падала бы Земля на Солнце, если бы она перестала обращаться вокруг него? (См. задачу 658.)

660. Сколько времени Луна падала бы на Землю, если бы ее движение прекратилось? (См. задачу 658.)

661. За сколько времени Плутон, падая на Солнце, долетел бы до его поверхности? (См. задачу 658.)

662. Вычислить массу Нептуна относительно массы Земли, зная, что его спутник отстоит от центра планеты на 354 тыс. км и период обращения равен 5 суткам 21,0 часу. Указание: Вычисление произвести, сопоставляя движение спутника Нептуна с движением Луны вокруг Земли.

663. Определить массу Урана в единицах земной массы, сравнивая движение Луны вокруг Земли с движением спутника Урана — Титанией, обращающегося вокруг него с периодом $8^{\text{д}}17^{\text{ч}}$, 0 на расстоянии 438 000 км.

664. Вычислить массу Марса в сравнении с массой Земли по движению его спутника Фобоса, для которого $a = 9300$ км, $t = 0,32$ суток. Соответствующие величины для Луны принять равными 384 000 км и 27,3 суток.

665. Определить массу Марса относительно Солнца, зная, что расстояние Фобоса, спутника Марса, от планеты равняется 9 380 км, а время звездного оборота Фобоса 0,31892 суток; расстояние Марса от Солнца равно 227 млн. км, а звездный период обращения Марса равняется 686,980 суток.

666. Вычислить массу Юпитера, зная, что расстояние 1 спутника от Юпитера равняется 422 000 км, время его обращения вокруг Юпитера 1,77 суток, расстояние Луны до Земли составляет 384 000 км, а время обращения Луны вокруг Земли 27,32 суток.

667. По точной формуле третьего закона Кеплера определить массу Юпитера, приняв массу Солнца за 1,

массу Земли за 0; $T_1 = 4332,6$ суток, $a = 5,2028$, $T = 365,26$ суток.

668. Определить массу Солнца M в сравнении с массой Земли m , сравнивая движение Луны около Земли с движением Земли около Солнца.

$$\begin{array}{ll} T = 365,256 \text{ суток (зв.год)}, & R = 149\,600\,000 \text{ км (Земля)}, \\ t = 27,3217 \text{ суток}, & r = 384\,400 \text{ км (Луна)}. \end{array}$$

669. Найти массу Солнца, если угловая скорость обращения Земли составляет 1° в сутки, постоянная тяготения $f = 6,7 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3/2 \cdot \text{сек}^2$, а расстояние от Земли до Солнца считать $R = 1,49 \cdot 10^8 \text{ км}$.

670. Как влияет накопление метеорного вещества на планете на большую полуось ее орбиты?

ВТОРОЙ КОНЦЕНТР

671. Какова должна быть масса Земли (по сравнению с действительной), чтобы Луна обращалась вокруг нее с современным периодом, но на вдвое большем расстоянии?

672. Как должна была бы мгновенно измениться масса Земли, чтобы, оставаясь на прежнем расстоянии, Луна обращалась вокруг Земли за двое суток?

673. На сколько должна была бы внезапно уменьшить-ся масса Земли, чтобы Луна от нее улетела навсегда?

674. Какова была бы параболическая скорость на расстоянии Земли от Солнца, если бы масса последнего возросла в 100 раз?

675. Удержало ли бы Солнце нашу Землю, несущуюся вокруг него по орбите со скоростью $29,76 \text{ км/сек}$, если бы масса Солнца уменьшилась вдвое?

676. Изменилось ли бы движение Земли, если бы Солнце, сохраняя свою массу неизменной, достигло в диаметре той же величины, что диаметр земной орбиты?

677. Определить, какую касательную скорость нужно сообщить ракете, чтобы она обегала Землю вдоль поверхности, не падая обратно (радиус Земли $R = 6371 \text{ км}$, масса Земли $5,97 \cdot 10^{27} \text{ г}$).

678. Известно, что если телу сообщить в горизонтальном направлении скорость $7,906 \text{ км/сек}$, то оно не упадет обратно на Землю, а сделается ее спутником, облетающим нашу планету около самой поверхности. Каков будет период обращения этого спутника? (ВВ)

679. Вычислить параболическую скорость на поверхности Луны ($R = 0,27$ радиуса Земли, $M = 1/81$ массы Земли).

680. Вычислить параболическую скорость на поверхности Солнца, если радиус Солнца $R = 1/_{215}$ а. е. $= 696\,000$ км.

681. Какова должна быть скорость тела, чтобы оно облетало Солнце близ самой его поверхности? Решить эту задачу с помощью третьего закона Кеплера и решить ее, рассматривая искомую скорость как предельную, при которой тело уже не упадет на поверхность Солнца.

682. Каков должен быть период обращения тела, движущегося по кругу близ самой поверхности Солнца? *Указание:* Воспользуйтесь третьим законом Кеплера.

683. Если бы у Земли был спутник с периодом обращения в 8 лунных месяцев, каково было бы расстояние до него?

684. На каком расстоянии от поверхности Марса должен был бы находиться его спутник, который обращался бы вокруг него с тем же периодом, что сам Марс вокруг своей оси?

Указание: Нужные данные взять из таблиц в конце книги.

685. Какую скорость надо сообщить ракетному межпланетному кораблю, чтобы он мог улететь с поверхности Марса на другие планеты? *Указание:* Нужные данные о Марсе взять из таблиц в конце книги.

686. Величина диаметра некоторой планеты получается умножением величины земного диаметра на p ; плотность этой планеты получается умножением плотности Земли на q . Пренебрегая вращением вокруг оси, вычислить ускорение тела, свободно падающего на поверхность этой планеты.

687. Если у астероида диаметр равен 0,01 диаметра Земли, а плотность равна средней плотности Земли, то какова сила тяжести на его поверхности в сравнении с земной?

688. Если на Земле прыгун держится в воздухе 1 секунду, сколько бы он при таком же прыжке продержался бы, не касаясь поверхности астероида из предыдущей задачи?

689. Радиус Луны равен 1740 км, а масса ее составляет $1/_{81}$ массы Земли. Как велика длина l' секундного маятника на поверхности Луны и какую продолжительность колебания t' имел бы на Луне земной секундный маятник? Величина ускорения силы тяжести на поверхности Земли $g = 9,81$ м/сек²; радиус Земли $R = 6371$ км.

690. С какой скоростью снаряд, вылетающий из артиллерийского орудия на Земле со скоростью в 900 м/сек, вылетит из него на Луне, где все тела весят в 6 раз меньше, чем на Земле? *Указание:* Соппротивлением воздуха на Земле пренебречь. (Перельман.)

691. Вычислить ускорение силы тяжести на поверхности Марса, если его средний радиус 3390 км, а его масса $6,4 \cdot 10^{26}$ г.

692. Каково ускорение силы тяжести на поверхности Солнца, если радиус его в 109 раз больше радиуса Земли, а плотности Солнца и Земли относятся как 1 к 4?

693. Если удвоить диаметр Солнца, не меняя его средней плотности, то как изменится ускорение силы тяжести на его поверхности?

694. Каким стало бы ускорение силы тяжести на поверхности Солнца, если бы, сохраняя прежнюю массу ($1,98 \cdot 10^{33}$ г), оно увеличилось в диаметре до размера земной орбиты?

695. Определить ускорение силы тяжести на поверхности Юпитера (g) по сравнению с его величиной на земной поверхности (g_0), зная, что масса Юпитера m в 317 раз, а радиус R его в 11 раз больше, чем у Земли.

696. Экваториальный радиус Юпитера равен $R = 71\,300$ км, а расстояние от его центра до четвертого спутника равно nR (где $n = 26,4$), время его обращения составляет $t = 16,69$ суток (в сутках 86 400 секунд). Вычислить, исходя из этих данных, ускорение g на поверхности Юпитера.

697. Сравнить ускорение силы тяжести, вызываемое Солнцем на поверхности самого Солнца и на расстоянии Земли от Солнца, если известны радиус Солнца $R = 7,0 \cdot 10^5$ км и радиус земной орбиты $r = 1,5 \cdot 10^8$ км?

698. Определить диаметр, объем и плотность Нептуна и ускорение силы тяжести на его поверхности, приняв его средний видимый диаметр равным $2'',3$, массу планеты равной 17,2 массы Земли, параллакс Солнца $8'',80$, а среднее расстояние Нептуна от Солнца равным 30,1 а. е.

699. Вычислить постоянную тяготения f в системе CGS, полагая плотность Земли $\delta = 5,5$ г/см³, земной радиус $r = 6371$ км, а ускорение силы тяжести 981 см/сек².

700. Определить величину гауссовой постоянной k в законе тяготения, приняв большую полуось земной орбиты за единицу, массу Земли m равной 1 : 354 710 массы Солнца, а звездный год $P = 365,2563835$ суток. (Число-

вые значения соответствуют принятым Гауссом.) *Указание:* Массу Солнца обозначить через M и применить третий закон Кеплера в точной форме.

701. Как изменилось бы движение планет солнечной системы, если бы масса Солнца в н е з а п н о уменьшилась вдвое?

702. Как изменилась бы орбита Земли, если бы масса Солнца в н е з а п н о удвоилась?

703. На сколько удлинился бы период обращения Юпитера, если бы его масса мгновенно стала ничтожно малой. *Указание:* Учесть, что масса Юпитера равна $1 : 1048$ массы Солнца.

704. На сколько удлинился бы год, если бы масса Земли уменьшилась мгновенно в миллион раз?

705. На сколько изменится продолжительность суток T , если метеорная пыль, падающая на поверхность Земли, покрывает ее равномерно тонким слоем массы $m = 138 \cdot 10^{11} \text{ т}$? При решении задачи можно считать массу Земли равной $M = 5 \cdot 10^{21} \text{ т}$ и момент инерции слоя метеорной пыли относительно земной оси равным $\frac{2}{3} m R^2$, где R — радиус Земли.

706. Метеорное тело, имевшее скорость, равную нулю относительно Солнца на бесконечно далеком от него расстоянии, стало падать к Солнцу. Какова будет скорость его падения v на расстоянии его от Солнца, равном 1 а.е. ? *Указание:* Орбитальную скорость Земли принять за $v_0 = 30 \text{ км/сек.}$

707. С какой скоростью упадет Земля на Солнце, если она остановится на своей орбите? Расстояние от Солнца до Земли $R = 1,5 \cdot 10^8 \text{ км}$, радиус Солнца $r = 7,0 \cdot 10^5 \text{ км}$ и угловая скорость вращения Земли вокруг Солнца $\omega = 1^\circ$ в сутки.

708. Какова будет орбита метеорного тела, вступающего в солнечную систему с бесконечно большой скоростью?

709. Некоторое тело, находясь от Солнца на расстоянии $0,7184 \text{ а.е.}$, имеет в этот момент скорость относительно Солнца $33,2 \text{ км/сек.}$ Определить вид конического сечения, описываемого телом. Знаете ли вы, какое это тело? (Иванов.)

710. Комета движется вокруг Солнца, имея в данный момент скорость $565,4 \text{ км/сек.}$ Ее радиус-вектор равен $0,005543 \text{ а. е.}$ Определить эксцентриситет кометной орбиты. (Иванов.)

711. Определить большую полуось, время обращения, эксцентриситет и перигелийное расстояние воображаемой кометы, которая на расстоянии 1 а. е. от Солнца имела скорость, по направлению совпадающую с круговой, но по величине в 10 раз меньшую. (Полак.)

712. Доказать, что для тела, описывающего эллиптическую орбиту, наибольшая скорость (в перигелии) относится к наименьшей (в афелии), как наибольшее расстояние от Солнца к наименьшему.

713. Если v_1 и v_2 — скорости планеты в перигелии и афелии, то

$$(1 - e)v_1 = (1 + e)v_2,$$

где e — эксцентриситет. Доказать это.

714. Некоторая комета движется по эллипсу, имеющему эксцентриситет 0,5. Сравнить ее линейные и угловые скорости в перигелии и в афелии.

715. Сравнить в перигелии и в афелии угловые и линейные скорости кометы, движущейся по эллипсу с экс-

центриситетом $\frac{1}{3}$; с эксцентриситетом 0,75.

716. Если линейная скорость кометы в афелии вчетверо меньше, чем в перигелии, каков эксцентриситет ее орбиты?

717. Доказать, что среднее геометрическое между наибольшей линейной скоростью движения по эллипсу с большой полуосью a и наименьшей равно скорости движения по кругу радиуса a . В какой точке орбиты тело имеет такую скорость?

718. В какой точке орбиты истинная линейная скорость планеты равна ее средней скорости?

719. У конца малой полуоси угловая скорость планеты не равна ее средней угловой скорости. Почему это так?

720. Комета движется по параболе с перигелийным расстоянием в 1 а. е. Сколько времени ей нужно, чтобы описать после перигелия 90° (от P до Q на рис. 29)?

721. Доказать, что комета, движущаяся по параболе с перигелийным расстоянием q , должна употребить $109,61 q^{3/2}$ суток, чтобы описать 90° после перигелия.

722. Два метеорных тела M_1 и M_2 описывают один и тот же эллипс, в фокусе S которого находится Солнце. Расстояние между ними настолько мало, что дугу эллип-

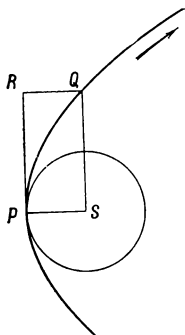


Рис. 29.

са M_1M_2 можно считать за отрезок прямой. Известно, что расстояние M_1M_2 равнялось d , когда середина его находилась в перигелии P . Предполагая, что метеорные тела движутся с равными секториальными скоростями, определить расстояние M_1M_2 , когда середина его будет проходить через афелий A , если известно, что $SP = R_1$ и $SA = R_2$ (Мещерский.)

723. Определить расстояние от Земли до Луны, если известны: радиус Земли $R_1 = 6370$ км, средняя плотность Земли $\delta_1 = 5,5$, период обращения Луны $T = 27,3$ суток и гравитационная постоянная $f = 6,7 \cdot 10^{-8}$ см³г⁻¹ сек⁻².

724. Какую начальную скорость v_0 , направленную вертикально вверх, нужно сообщить телу, находящемуся в покое на поверхности Земли, чтобы оно в точке, расположенной на высоте, равной земному радиусу, имело скорость $v = 0$? Указание: Принять во внимание только силу притяжения Земли, которая изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния тела от центра Земли. Радиус Земли — $6,37 \cdot 10^8$ см, а ускорение силы тяжести на поверхности Земли равно $980,6$ см/сек². (Мещерский.)

725. Найти, с какой минимальной скоростью v_0 нужно выпустить снаряд с поверхности Земли по направлению к Луне, чтобы он достиг точки, где силы притяжения Земли и Луны равны. Движением Земли и Луны и сопротивлением воздуха пренебрегаем. Ускорение силы тяжести у поверхности Земли $g = 9,8$ м/сек². Отношение масс Луны и Земли $m : M = 1 : 80$; расстояние между ними $d = 60R$, где $R = 6000$ км — радиус Земли. Величину f силы всемирного тяготения для случая двух масс, равных каждая единице, на расстоянии, равном единице длины, находим из уравнения

$$g = f \left[\frac{M}{R^2} - \frac{m}{(d-R)^2} \right]. \quad (\text{Мещерский.})$$

726. Доказать, что геометрическое место точек, в которых силы притяжения Солнца и Земли равны, есть сфера радиуса $\frac{R \sqrt{Mm}}{M-m}$ с центром, лежащим на прямой, соединяющей Солнце и Землю на расстоянии $\frac{mR}{M-m}$ от центра Земли в сторону, противоположную Солнцу, где M и m — массы Солнца и Земли, а R — расстояние от Земли до

Солнца. Выразите две указанные выше величины в километрах.

727. Найти отношение возмущающей силы Солнца D_S в максимуме (действующей на Луну) к притяжению Солнца A_S и к притяжению Земли A_E . *Примечание:* Расстояние Солнца от Земли обозначить через R , расстояние Луны от Земли через r , расстояние от Солнца до Луны через ρ , а массы Солнца и Земли через M и m .

728. Найти отношение наибольшего возмущающего влияния Солнца на Луну к наименьшему возмущающему влиянию Земли на Луну. *Примечание:* Обозначения использовать те же, что и в предыдущей задаче.

729. Доказать, что если Луну считать обращающейся вокруг Земли и возмущаемой Солнцем, то максимум возмущения им будет в тех положениях Луны, где наименьшим оказывается возмущающее действие Земли, если считать Луну движущейся около Солнца и возмущаемой Землей.

730. Юпитер совершает полный оборот вокруг своей оси за 10 часов. Найти отношение весов тел на экваторе и на полюсах по известным радиусу Юпитера R , массе его M и постоянной тяготения f . *Указание:* Отношение ускорений разложить по биному Ньютона.

731. Луна в апогее на $\frac{1}{9}$ дальше, чем в перигее. На сколько процентов больше в перигее приливная сила?

732. Во сколько раз прилив во время сизигий теоретически должен быть больше прилива во время четвертей Луны? (Сизигиями называются новолуния и полнолуния.)

733. В какое время года приливообразующая сила Солнца является наибольшей и в какое наименьшей? Сравнить эти две величины. (Паренаго.) *Указание:* Эксцентриситет земной орбиты равен $\frac{1}{60}$.

ХVIII. АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ

II

А. Объектив телескопа дает в своем главном фокусе действительное изображение небесных светил, рассматриваемое в окуляр. 1° небесной сферы изображается в фокальной плоскости телескопа отрезком, равным приблизительно $\frac{1}{57}$ доле фокусного расстояния F объек-

тива или зеркала. Увеличение, даваемое телескопом, равно фокусному расстоянию F объектива или зеркала, деленному на фокусное расстояние окуляра f , а длина трубы (оптическая) равна $F + f$.

Разрешающая сила телескопа характеризуется предельным угловым расстоянием между двумя звездами, которые видны в этот телескоп, не вполне сливаясь одна с другой. Разрешающая сила характеризуется величиной $S = 11'', 6 : D$, в которой D — диаметр объектива в сантиметрах, или формулой $S = 4'', 56 : D$, в которой D выражено в дюймах ($1 \text{ дюйм} = 25 \text{ мм}$).

Б. Блеск звезд выражается в звездных величинах. Отношение блеска звезд, отличающихся на одну звездную величину, равно 2,512. Если две звезды имеют блеск I_1 и I_2 , а их звездные величины m_1 и m_2 , то

$$\lg \frac{I_1}{I_2} = 0,4 (m_2 - m_1) \text{ или } (m_2 - m_1) = 2,5 \lg \frac{I_1}{I_2}.$$

С изменением расстояния блеск источника света изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния.

Проницающая сила телескопа характеризуется предельной величиной звезд, еще видимых в данный телескоп в совершенно ясную темную ночь: она приблизительно выражается формулой $m = 7,5 + 5 \lg D$, где D выражено в сантиметрах (или формулой $m = 9,5 + 5 \lg D$, в которой D — диаметр объектива в дюймах).

В. Скорость движения источника света по лучу зрения относительно наблюдателя вызывает в спектре светил смещение спектральных линий с их нормальных мест, которые они занимают в спектре неподвижного относительно наблюдателя источника света, т. е. их длина волны λ меняется. Длина волны становится больше, т. е. спектральная линия смещается к красному концу спектра, если светило удаляется от наблюдателя, и наоборот. Если измененную движением длину волны обозначить через λ' , то по принципу Доплера

$$\lambda' - \lambda = \lambda \frac{v}{c} \text{ или } v = \frac{\lambda' - \lambda}{\lambda} c,$$

где v — скорость светила (положительная при удалении его от наблюдателя), а c — скорость света. Длины волн света выражают в микронах (μ), миллимикронах ($\text{м}\mu$) и в ангстремах ($\text{\AA}$). $1 \text{ \AA} = 0,1 \text{ м}\mu = 0,0001 \mu = 0,0000001 \text{ мм}$. Число световых колебаний в секунду — частота $\nu = c : \lambda$.

С применением этих сведений мы будем неоднократно встречаться в последующих разделах сборника.

Г. Основным прибором для определения координат звезд является *меридианный круг*. Для определения поправки часов пользуются *пассажным инструментом*, установленным так же, как и меридианный круг, т. е. так, что его труба вращается только в плоскости меридиана. Ось ее вращения, как и у меридианного круга, расположена по линии восток — запад.

Для измерения небольшой разности координат небесных светил применяют *микрометр*. Микрометр представляет собой рамку, в которой находятся взаимно перпендикулярные паутинные нити, перемещающиеся в фокальной плоскости телескопа при помощи микрометрических винтов.

Д. Видимые в телескоп маленькие диски звезд и окружающие их слабые светлые кольца являются следствием дифракции света на краях объектива.

Е. Объектив телескопа или астрографа (для фотографирования светил) характеризуется его диаметром D и *светосилой*, т. е. отношением D/F .

Ж. Оценку блеска небесного светила можно делать путем простых глазомерных сравнений его блеска с блеском звезд, близких к нему на небесной сфере, звездная величина которых известна. Интервал блеска между двумя звездами сравнения мысленно делят на 10 частей и оценивают, где внутри этого интервала помещается по своему блеску изучаемое светило. Если последнее обозначить через v , более яркую, чем оно, звезду обозначить через a , а более слабую — через b , то результат записывают следующим образом.

Пусть, например, v по блеску находится как раз посередине между a и b , тогда пишут $a5v5b$. Если различие между a и v в полтора раза больше различия v и b , то пишут $a6v4b$ и т. д. Очевидно, искомую звездную величину m_v звезды v найдем по формуле

$$m_v = m_a + \frac{m_b - m_a}{10} \cdot k,$$

если запись такова: $akv lb$, где k и l — такие числа, что $k + l = 10$.

З. Спектры изучают сейчас преимущественно по фотографиям их — спектрограммам. Точность измерения длины волны в спектре в первую очередь зависит от «масшта-

ба» спектрограммы. Чем больше на снимке расстояние между двумя определенными линиями с различной длиной волны, тем больше, как говорят, *линейная дисперсия*. В спектре, полученном с призмой, дисперсия есть функция длины волны и определяется экспериментально. На фотографиях звездных спектров красный конец спектра всегда обрывается резко, а фиолетовый постепенно сходит на нет. Последний по сравнению с красным концом спектра у белых звезд ярче, чем у желтых, а тем более, чем у красных звезд. Среди линий звездных спектров наиболее характерна так называемая бальмеровская серия линий водорода (вдоль всего спектра) и две широкие, близкие одна к другой линии ионизованного кальция в ультрафиолетовой части спектра*).

ВТОРОЙ КОНЦЕНТР

734. Если наклеить на объектив телескопа, направленного на Луну, треугольный кусок бумаги, то как это изменит вид Луны для наблюдателя?

735. Если Вы станете держать перед объективом палец, увидит ли его человек, смотрящий в телескоп?

736. Какова теоретическая разрешающая и проникающая сила телескопа с объективом 8 см (около 3 дюймов)?

737. Пользуясь формулой разрешающей силы телескопа, определить теоретически, каково угловое расстояние между центрами двух звездных дисков, едва-едва разделяемых в телескоп с объективом в 24 дюйма?

738. Какова была разрешающая и проникающая сила телескопа с объективом в 75 см, находившегося в Пулковской обсерватории до ее разрушения фашистами?

739. Какое нужно применить увеличение, чтобы при наблюдении Юпитер (видимый диаметр 40") был виден такой же величины, как Луна для невооруженного глаза? (ВВ)

740. Если окуляр при фокусном расстоянии объектива в 160 см дает увеличение в 200 раз, то какое увеличение он даст при фокусном расстоянии объектива в 12 м?

741. Если окуляр, употребляемый при объективе с фокусным расстоянием в 1 м, дает увеличение в 50 раз,

*) Некоторые задачи этого раздела требуют знания основных сведений из геометрической оптики, сообщаемых в любом вузовском курсе физики.

то какое увеличение даст тот же окуляр при объективе с фокусным расстоянием в 5 м?

742. Самый большой в мире рефрактор имеет фокусное расстояние 19,5 м. Каково фокусное расстояние окуляров, дающих на этом рефракторе увеличение в 300, в 1000 и в 3000 раз?

743. Какой диаметр x будет иметь изображение Солнца (видимый диаметр $\beta = 32'$) в фокусе объектива с фокусным расстоянием $F = 40$ см?

744. Если угловой диаметр Луны равен $31'$, то каков будет диаметр ее изображения в фокусе объектива с фокусным расстоянием в 254 см?

745. Чему равно фокусное расстояние объектива, дающего изображение Луны диаметром в 15 мм?

746. Планета Марс при наибольшем приближении к Земле имеет угловой диаметр $25''$. Каков будет диаметр ее фотографического изображения, полученного с помощью рефрактора, у которого $F = 19,5$ м?

747. Диаметр телескопа равен $1\frac{1}{4}$ м. Светосила этого телескопа $\frac{1}{5}$. Каков в его фокусе линейный диаметр изображения Марса в ту пору, когда его угловой диаметр составляет $25''$?

748. Во сколько раз звезды 1-й величины ярче самых слабых звезд, видимых простым глазом (т. е. звезд 6-й величины)?

749. Во сколько раз звезды 1-й величины ярче самых слабых звезд, какие только можно наблюдать в настоящее время, т. е. звезд 21-й величины?

750. У некоторой переменной звезды блеск меняется от минимума к максимуму на 7 звездных величин. Во сколько раз возрастает при этом блеск звезды?

751. Между 20 и 22 февраля 1901 г. блеск новой звезды, вспыхнувшей в созвездии Персея, увеличился в 25 000 раз. Каково было соответствующее изменение блеска в звездных величинах?

752. Если расстояние до звезды 4-й величины уменьшить вдвое, какой станет ее видимая звездная величина?

753. На сколько изменится звездная величина звезды, если ее приблизить на 40% расстояния? Если ее удалить на такую же величину?

754. Видимая звездная величина Денеба 1,33, а Скриуса — 1,58. Во сколько раз Денеб стал бы для нас

ярче Сириуса, если бы его поместить на расстоянии Сириуса? Известно, что Сириус в 75 раз ближе к нам, чем Денеб. (ВВ)

755. Пусть у некоторой звезды происходит периодическая пульсация поверхности при практически постоянной температуре (т. е. при постоянстве яркости единицы поверхности звезды). При пульсации радиусы звезды в крайних положениях относятся, как 1 : 2. Какова амплитуда изменения суммарного блеска звезды в звездных величинах? (ВВ)

756. Сколько звезд 6-й величины имеют вместе такой же блеск, как одна звезда 1-й величины?

757. Сколько звезд нулевой величины могут заменить свет, испускаемый всеми звездами от 10-й до 11-й величины, если число их равно 546 000? *Указание:* Принять среднюю звездную величину звезд от 10-й до 11-й звездной величины равной 10,5.

758. Каково приблизительно должно быть количество звезд нулевой величины для того, чтобы их свет заменил суммарный свет звезд от 19-й до 20-й величины, если число их равно $4,4 \cdot 10^8$?

759. Звезд 6-й величины на северном небе 2000. Во сколько раз их общий свет сильнее света Сириуса, блеск которого — 1,6 звездной величины?

760. В спектре звезды линия кальция с длиной волны, равной 4227 Å, оказалась смещенной к фиолетовому концу спектра на 0,70 Å. Определить, с какой скоростью движется звезда по лучу зрения и притом приближается ли она к Земле или удаляется?

761. Каково число колебаний в секунду для указанной в предыдущей задаче линии кальция?

762. Каково в ангстремах изменение длины волны линии D натрия ($\lambda = 5896,16 \text{ Å}$) при скорости движения 160,9 км/сек?

763. Число колебаний в секунду для красных лучей $\nu = 451 \cdot 10^{12}$, для фиолетовых $783 \cdot 10^{12}$. Каковы соответствующие длины волн λ ? *Указание:* Принять скорость света равной 300 000 км/сек.

764. В спектре новой звезды 1934 г. в Геркулесе темные линии были смещены относительно нормального положения к фиолетовому концу. Линия H_γ ($\lambda = 4341 \text{ Å}$)

была смещена на $10,1 \text{ \AA}$. Какова скорость газа, выброшенного из звезды и вызвавшего своим поглощением появление в спектре темных линий? (ВВ)

765. Доказать, что если навести трубу универсального инструмента или теодолита на земной предмет, а потом повернуть трубу около вертикальной оси на 180° и снова навести на предмет, то полусумма соответствующих отсчетов вертикального круга даст отсчет, при котором труба направлена в зенит («место зенита»), а полуразность этих отсчетов даст зенитное расстояние предмета.

766. Чему равно расстояние между двумя смежными штрихами меридианного круга диаметром в 1 м , разделенного через $2'$? Чему равна линейная величина $1''$ на таком же круге?

767. Почему важно, чтобы оба конца оси (цапфы) пассажного инструмента имели в точности одинаковый диаметр?

768. Как влияет на наблюдения прохождения звезд через меридиан слишком высокое положение западного лагера пассажного инструмента?

769. Каково будет влияние на прохождение звезд к югу от зенита того обстоятельства, что восточный лагерь пассажного инструмента сдвинут к северу от своего правильного положения? Каково влияние этой причины на кульминации к северу от зенита и как оно зависит от склонения звезды?

770. Какую ошибку в отмеченном моменте прохождения звезды вызовет неправильное положение средней нити сетки пассажного инструмента, если она сдвинута к западу? Будет ли эта ошибка одинакова для звезд с разным склонением? Что получится, если ось инструмента повернуть на 180° ?

771. Звезда пересекла по диаметру поле зрения неподвижного телескопа за t секунд. Чему равно в угловой мере (в дуге большого круга) поле зрения телескопа d , если склонение звезды равно δ ? (ВВ)

772. Определить угловое расстояние между двумя вертикальными нитями в фокусе окуляра меридианного круга, если промежуток времени между прохождениями через эти нити звезды δ Малой Медведицы был 184° . Склонение звезды $+86^\circ 36',6$.

773. Зависит ли цена оборота винта микрометра от того, какой окуляр (с каким увеличением) привинчивается к телескопу?

774. Шаг микрометрического винта прибора равен 0,50 мм. Какова в таком случае цена одного оборота винта (в угловой мере), если микрометр укреплен на телескопе с фокусным расстоянием в 650 см?

775. Нити микрометра установлены так, что при телескопе с фокусным расстоянием в 150 см звезда, вследствие суточного движения, бежит от одной нити до другой в течение 15 секунд. Сколько времени будет длиться это явление при тех же условиях, но при телескопе с фокусным расстоянием в 450 см?

776. Как повлияет на вид Луны, рассматриваемой в телескоп, закрытие половины его объектива? Как это повлияет на вид дифракционных дисков и колец звезд?

777. Какую величину имеет изображение Солнца, получаемое через отверстие диаметром $d = 0,0006$ м на стене, отстоящей на $b = 4$ м от отверстия, если видимый диаметр Солнца $\alpha = 32'$?

778. Даны фокусные расстояния астрономической зрительной трубы: объектива $F = 160$ см, окуляра $f = 8$ см. Под каким углом β видит наблюдатель радиус лунного диска в трубу, если видимый диаметр Луны $2\alpha = 32'$? Какова длина трубы?

779. Вогнутое зеркало в телескопе Ньютона имеет фокусное расстояние $F = 60$ см. Удаленность предмета наблюдения $a = 500$ м. Спрашивается: а) в какой точке оси трубы надо расположить малое плоское зеркало, чтобы изображение находилось на расстоянии $c = 15$ см от оси; б) каково получаемое уменьшение; в) какое получается увеличение при рассматривании малого изображения в лупу фокусного расстояния $f = 3$ см при расстоянии наилучшего зрения $S = 24$ см?

780. Для оптического прибора пришлось сложить вплотную две собирательные линзы с главными фокусными расстояниями F_1 и F_2 . Каково главное фокусное расстояние F системы?

781. На рисунке I (см. в конце книги) представлен вид увеличенных изображений звезд, снятых при различных расстояниях пластинки от объектива. Который из снимков сделан «в фокусе»? (ВВ)

782. Какого формата (принятого в продаже) должны быть пластинки, чтобы на них полностью уместилось изображение солнечной короны, лучи которой при полном

затмении Солнца тянутся обычно на 2—3 радиуса Солнца (считая от его края), если предполагается применить аппарат с фокусным расстоянием в 150 см? (ВВ)

783. На обсерватории имеются два астрографа (установленных экваториально фотографических телескопов или фотографических камер для фотографирования звезд). Первый имеет объектив 16 см и светосилу 1:4, второй — объектив 16 см и светосилу 1:20. Какой из астрографов выгоднее применить для:

- 1) получения фотографии кометного хвоста,
 - 2) фотографирования лунных гор,
 - 3) получения фотографии падающих звезд,
 - 4) фотографирования солнечных пятен,
 - 5) точного фотографического определения положений звезд в Плеядах,
 - 6) получения фотографии туманности Ориона? (ВВ)
-

784. Две планетарные туманности имеют одинаковые линейные размеры, строение, вид и истинный суммарный блеск, но одна вдвое дальше другой. Каково отношение их поверхностных яркостей? (ВВ)

785. Каково отношение блеска компонентов двойной звезды γ Андромеды (см. задачу 1059 и ответ к ней) в визуальных лучах и в фотографических?

786. Какова суммарная визуальная звездная величина двойной звезды γ Андромеды, если визуальные звездные величины ее компонентов равны 2,28 и 5,08?

787. Определить суммарную звездную величину двойной звезды, состоящей из компонентов 2-й и 4-й звездной величины.

788. Звезда α Центавра двойная, причем ее суммарная звездная величина 0,06. Звездная величина более яркого компонента 0,33. Какова звездная величина менее яркого компонента?

789. На каком расстоянии надо поставить международную свечу, чтобы она (не учитывая поглощение света воздухом) производила бы такую же освещенность, как звезда 8-й величины, дающая освещенность $1,4 \cdot 10^{-9}$ люкса? (ВВ)

790. Сириус — самая яркая звезда неба — создает на Земле освещенность $9 \cdot 10^{-6}$ люкса, а звезда 6-й величины $8 \cdot 10^{-9}$ люкса. Какова звездная величина международной свечи на расстоянии 1 км? на расстоянии 1 м? (ВВ)

791. Определить звездную величину переменной звезды v , если запись наблюдений такова:

$$a4v1c, \quad b1v4d$$

и если звездная величина звезд сравнения: $a = 9,2$; $b = 9,4$; $c = 9,8$; $d = 9,9$.

792. Определить звездную величину переменной v по следующим записям наблюдений (из 4 отдельных оценок нужно взять среднее):

$$a7v3b, \quad a9v1d, \quad c8v2d, \quad c7v3b.$$

Звездные величины звезд сравнения: $a = 3,74$; $b = 4,61$; $c = 4,00$; $d = 4,57$.

793. Известно, что многие внегалактические туманности удаляются от нас с огромными скоростями, измеряемыми тысячами и даже десятками тысяч километров в секунду. Как влияет это на видимое на спектрограмме (снятой с призмой) линейное расстояние между двумя линиями спектра, например H_α и H_β ? (ВВ)

794. Дисперсия спектрограммы звезды $60 \text{ \AA/мм}$ около H_γ . Эта линия в спектре звезды смещена с нормального положения на $0,005 \text{ мм}$ к фиолетовому концу спектра. Какова по принципу Доплера скорость звезды в километрах в секунду? Лабораторная длина волны линии H_γ равна $4341 \text{ \AA}$. (ВВ)

795. Допустим, что дисперсия спектрографа линейна и что весь видимый глазом спектр звезды (от фиолетового цвета до красного) занимает на пластинке длину 5 см . Каково должно быть в этом случае линейное смещение на пластинке линии спектра, имеющей в лаборатории длину волны $5000 \text{ \AA}$, если звезда приближается к нам со скоростью 10 км/сек ? (ВВ)

796. Измерить на рисунке II (см. в конце книги) спектрограмму звезды Процион, пользуясь сфотографированным сверху и внизу от нее дуговым спектром железа, снятым для сравнения. Длины волн (нормальные) линий в спектре дуги указаны (в ангстремах). Оценив для каждого участка спектра его дисперсию — число ангстремов, укладываемых в 1 мм в масштабе спектрограммы, измерьте смещение линий железа в спектре звезды относительно линий в спектре сравнения с точностью до 1 мм . Надо измерять смещение центров темных линий в спектре звезды относительно средин ярких линий в спектре срав-

нения. Эти смещения, умноженные на число ангстремов, укладываемых в 1 мм в данном участке спектрограммы, дают разность длин волн — звездной и лабораторной $\lambda' - \lambda$ в ангстремах. Определить лучевую скорость Прокциона относительно Земли. *Указание:* Использовать несколько линий и за окончательный результат принять среднее из полученных скоростей. (BB)

797. На рисунке III (см. в конце книги) воспроизведены фотографии спектров двух звезд. С какой стороны рисунка находится красный конец спектров и которая из звезд блее по цвету? (BB)

798. Какому химическому элементу принадлежит большинство линий, видимых на рисунке IV в спектре звезды ζ Тельца? (BB)

799. На рисунке V воспроизведены снятые на одной пластинке щелевым спектрографом спектр Веги (спектральный класс A) и спектр новой звезды 1934 г. в созвездии Геркулеса (в июне 1935 г.). Отождествите в спектре новой звезды те линии излучения, какие можете. (В спектре Веги крайняя линия поглощения, видимая на «красном» конце спектра, есть водородная линия H_β , остальные линии тоже водородные.) (BB)

800. На рисунке VI (вверху) в спектре звезды ϵ Ориона (спектрального класса B0) отмечены водородные линии, длины волн которых соответственно $H_\beta = 4861$, $H_\gamma = 4341$, $H_\delta = 4102$, $H_\epsilon = 3970$ (в ангстремах). Построить по этим данным дисперсионную кривую и определить по ней длину волны трех других линий (отмеченных черточками), предварительно измерив их положение в спектре. Отождествить эти линии с линиями химических элементов по таблице XV в конце книги. *Указание:* Дисперсионная кривая представляет зависимость длины волны в спектре от расстояния в спектре, считаемом от какой-либо произвольно взятой линии. (BB)

801. Выполнить упражнение, аналогичное предыдущему, для звезды α Возничего, спектр которой дан на рисунке VI (внизу). (BB)

802. Белый свет падает на кронгласовую призму с преломляющим углом $\gamma = 60^\circ$. Показатели преломления для красного и фиолетового цветов $n_k = 1,524$ и $n_f = 1,543$. Фиолетовый луч проходит с наименьшим отклонением; какой угол δ образуют между собой лучи того и другого цвета по выходе из призмы? Какова будет на пластинке длина спектра звезды от красного цвета до фиолетового,

если эту призму поместить перед фотографической камерой с фокусным расстоянием 57 см?

803. На флинтгласовую призму с углом преломления $\gamma = 53^\circ$ падает в плоскости главного сечения белый луч под углом падения $\alpha = 40^\circ 30'$. Каким отклонениям подвергаются красные и фиолетовые лучи, если их показатели преломления $n_k = 1,6$ и $n_\phi = 1,64$?

804. На призму из флинтгласа с преломляющим углом $\gamma = 36^\circ$ падает белый свет в плоскости главного сечения и притом так, что красный луч выходит из призмы в направлении, перпендикулярном ко второй грани призмы. Вычислить отклонение δ_ϕ фиолетового луча и полную дисперсию призмы; показатели преломления для красного и фиолетового цветов $n_k = 1,602$ и $n_\phi = 1,634$.

805. Фраунгоферовым линиям В, Е, Н в красной, зеленой, фиолетовой частях спектра соответствуют, при применении кронгласовой или флинтгласовой призмы, показатели преломления, соответственно равные: $n_k = 1,526$; $n = 1,533$; $n_\phi = 1,547$, или $n'_k = 1,695$; $n' = 1,712$; $n'_\phi = 1,751$. Преломляющий угол призмы из флинтгласа $\gamma' = 12^\circ$. Каков преломляющий угол γ призмы из кронгласа, если красные и фиолетовые лучи по выходе совпадают? Как велико отклонение δ_3 зеленых и δ_k красных лучей?

ХІХ. ЛУНА

Задачи этого раздела не требуют пояснений. Следует лишь помнить, что на Луне нет атмосферы, а следовательно, не происходит и явлений, ею обусловленных. При своем вращении вокруг Земли Луна остается повернутой к ней все время одной и той же стороной, но к Солнцу последовательно поворачивается всеми сторонами. Точные цифровые данные о Луне см. в таблице ХІІІ в конце книги.

ПЕРВЫЙ КОНЦЕНТР

806. Сколько оборотов вокруг своей оси в течение года делает Луна по отношению к Солнцу?

807. Какова длина звездных суток на Луне? Сколько времени продолжаются там день и ночь? (ВВ)

808. Луна восходит не менее двух минут, если ее наблюдать на Земле. В течение какого времени восходит Земля для наблюдателя на Луне?

809. Как видна Земля для космонавта, находящегося близ центра видимого полушария Луны? Как для этого космонавта влияет либрация на видимое положение Земли? (Полак.)

810. Как меняется видимое положение Земли на небе Луны вследствие либрации, если наблюдатель находится на краю видимого нам полушария Луны? (ВВ)

811. Описать, как происходит на небе для наблюдателя, находящегося на Луне, «суточное» и «годовичное» движения Земли и Солнца. *Указание:* Влиянием либрации Луны пренебречь.

812. Можно ли с Луны видеть Землю в момент новоземелия (с Земли Луна в новолунии не видна)? (ВВ)

813. Земля имеет отражательную способность, в 6 раз бóльшую, чем Луна. Во сколько раз земное освещение на Луне ярче лунного освещения на Земле? *Указание:* Диаметр Луны составляет 0,273 земного.

814. Во сколько раз свет Луны в полнолуние слабее солнечного, если звездная величина Луны — 12,5, а Солнца — 26,7?

815. Указать одну из причин того, что свет Луны в первой или в последней четверти составляет меньше половины ее света в полнолуние. (ВВ)

816. Такой же ли вид имеет Солнце с Луны, как и с земной поверхности?

817. Когда на Земле 11—12 августа наблюдается много падающих звезд — метеоров, могут ли наблюдаться они и на Луне?

818. Можно ли, находясь на Луне, наблюдать лунные полярные сияния? (ВВ)

819. Во сколько раз напряжение силы тяжести на поверхности Луны меньше, чем на поверхности Земли, если масса Луны в 81 раз, а радиус в 3,7 раза меньше массы и радиуса Земли?

820. Если на Земле человек может подпрыгнуть на полметра, то на сколько он мог бы подпрыгнуть, если бы напряжение силы тяжести на Земле стало таким же, каким оно является на Луне?

821. Сколько весил бы человек, попавший на Луну и весящий на Земле 60 кг, на пружинных весах? на рычажных весах?

822. Угловой диаметр кратера Коперник на Луне равен 40". Расстояние Луны от Земли 386 000 км. Каков линейный диаметр кратера Коперник?

ВТОРОЙ КОНЦЕНТР

823. На краю Луны «в профиль» видна гора, выдающаяся над этим краем на $0'',4$. На основании общеизвестных сведений о Луне определить высоту горы в километрах. (ВВ)

824. Воспользовавшись изображенной на рисунке VII фотографией Луны, измерить по ней наибольшую длину тени внутреннего склона кольцевого горного вала, окружающего равнину кратера Теофил (в центре фотографии), и определить приблизительно высоту ее в километрах, зная, что в момент фотографирования высота Солнца над горизонтом данного места Луны была $h = 0^\circ 43'$.

Угловой радиус Луны $15'30''$ и расстояние до нее $386\,000$ км считать известными.

Угловой диаметр кратера Теофил по измерению микрометром равен $59'',5$.

Указание: Не забыть учесть сокращение длин в направлении, перпендикулярном к терминатору, вследствие перспективы (Луна — шар). Величину сокращения определить, измерив видимые диаметры кратера и считая его истинную форму за круг. (ВВ)

825. Измерить расстояние AK видимой на черном фоне в качестве освещенной точки, озаренной Солнцем, вершины лунной горы K от терминатора по фотографии (рис. VII, ее масштаб в задаче 824). Зная по астрономическому календарю, что в этот день параллакс Луны был $1^\circ 0'$, а угловой радиус Луны $15'30''$, определить h — высоту лунной горы в километрах. (Этим способом высоту гор на Луне измерял Галилей.) (ВВ)

826. Средняя квадратическая скорость молекул водорода

$$v = 485 \sqrt{\frac{14,4T}{273}} \text{ м/сек},$$

где T — абсолютная температура. Принимая во внимание, что в лунный полдень температура на Луне поднимается до $+120^\circ \text{C}$, ответить на вопрос, много ли молекул водорода должно немедленно покинуть Луну в таких условиях, если параболическая скорость на ее поверхности равна $2,4$ км/сек.

XX. ПЛАНЕТЫ

Задачи этого раздела основаны на общеизвестных сведениях о природе планет и на знании вопросов, затронутых в предыдущих разделах. В случае надобности цифровые данные надо брать из таблиц в конце книги.

Солнечной постоянной (для Земли), упоминаемой в задачах, называется количество энергии, падающей за 1 минуту на 1 см^2 поверхности, перпендикулярной к солнечным лучам при условии отсутствия земной атмосферы и помещенной на среднем расстоянии Земли от Солнца. Солнечная постоянная равна $1,99 \text{ кал/см}^2 \text{ мин.}$

ПЕРВЫЙ КОНЦЕНТР

827. В каком отношении сходны все планеты? В каком отношении четыре ближайшие к Солнцу планеты сходны между собой, но отличны от четырех внешних планет? В каком отношении четыре внешние планеты сходны между собой, но отличны от четырех внутренних?

828. Чему равен угловой диаметр Земли, видимой с Юпитера во время ее прохождения по диску Солнца? Известно, что расстояние Юпитера от Солнца равно 5,2 а. е., а параллакс Солнца равен $8'',79$.

829. Под каким углом видна Венера с Земли во время верхнего соединения и во время прохождения ее по диску Солнца? Под каким углом видна в это время Земля с Венеры? Луна с Венеры? Расстояние Венеры от Солнца равно 0,72 а. е. Диаметр Луны равен 0,27 диаметра Земли. Диаметр Венеры равен 0,95 диаметра Земли, а параллакс Солнца равен $8'',79$.

830. Доказать, что в момент среднего противостояния Марс с Земли виден почти точно под таким же угловым диаметром, как Луна с Венеры. Почему в этих условиях Луна с Венеры должна казаться ярче, чем Марс с Земли?

831. Однажды видимый радиус Юпитера был найден по измерениям микрометром равным $17'',75$. Вычисленное расстояние до планеты (элементы ее орбиты известны) составляло в этот день 5,431 а. е. Параллакс Солнца равен $8'',79$. Определить диаметр Юпитера в сравнении с земным.

832. Во время наибольшего приближения Марса к Земле (на расстояние в 56 000 000 км) его угловой диаметр равен $25''$. Каков его линейный диаметр?

833. Если угловой диаметр Венеры равен $1'$, а ее линейный диаметр равен $12\,200$ км, каково ее расстояние от наблюдателя?

834. На какое угловое расстояние от Солнца может удалиться Земля для наблюдателя на Марсе? на Нептуне?

835. Считая, что человеческий глаз еще может различать детали, видимые под углом $2'$, вычислить в километрах размер наименьших деталей, видимых на Марсе в телескоп с увеличением в 600 раз, во время противостояния Марса, когда его угловой диаметр равен $25''$. Вероятно ли, чтобы при такой ширине «каналы» Марса были искусственными сооружениями?

Заметим, что увеличения более 600 раз для наблюдений Марса применять не удастся вследствие колебаний воздуха в земной атмосфере.

836. Как делится на климатические пояса поверхность планеты, ось которой образует с плоскостью орбиты угол около 65° , как у Марса?

837. Описать климатические условия на планете Юпитер, зная, что ось ее вращения почти перпендикулярна к плоскости ее орбиты.

838. Описать климатические условия на планете Уран, зная, что ось ее вращения почти совпадает с плоскостью ее орбиты.

839. Во сколько раз освещение Сатурна Солнцем слабее, чем освещение Солнцем Земли?

840. Сравнительные расстояния от Солнца планет Меркурия, Венеры, Земли, Марса, Юпитера можно выразить таким рядом чисел: 0,4; 0,7; 1; 1,5; 5,2. В каких отношениях находятся между собой числа, выражающие яркость освещения Солнцем одинаковых площадок на поверхности этих планет при перпендикулярном падении лучей?

841. Каков угловой диаметр Солнца, рассматриваемого с Нептуна? Во сколько раз солнечное освещение на Нептуне слабее, чем на Земле?

842. Чему равна «солнечная постоянная» на планете Марс?

Среднее расстояние Марса от Солнца равно 1,52 а. е.

843. Предположим, что Земля и Нептун находятся приблизительно на одной прямой между Солнцем и ближайшей звездой. На сколько ярче казалась бы звезда с Нептуна, чем с Земли?

844. Звездная величина Солнца при наблюдении с Земли — 26,7.

Какова звездная величина Солнца, видимого с Нептуна? Во сколько раз Солнце с Нептуна кажется ярче, чем Сириус?

845. Звездная величина Веги равна $+0,1$, а Венеры в наибольшем блеске равна $-4,3$. Во сколько раз Венера ярче Веги?

846. Если бы Юпитер находился вдвое дальше от Солнца, чем в действительности, то насколько меньше был бы его блеск в противостоянии?

847. Почему Земля с Венеры должна казаться ярче, чем Венера с Земли? Всегда ли это верно?

Указание: Диаметры и отражательную способность обеих планет считать одинаковыми. (Полак.)

848. Видимый блеск планет зависит от их расстояния от Солнца и от Земли. У какой планеты — Юпитера или Плутона — пределы изменения блеска (видимые с Земли) больше, если большие полуоси орбит этих планет равны 5 и 40 а. е.? (ВВ)

849. Допустим, что вся масса кольца Сатурна собрана в один большой спутник, обращающийся вокруг планеты на расстоянии середины кольца и имеющий ту же плотность, что у частиц, составляющих кольцо. Усилилось бы или нет ночное освещение на Сатурне в тех местах, где кольцо с планеты хорошо видимо? (ВВ)

ВТОРОЙ КОНЦЕНТР

850. Почему терминатор Венеры при наблюдении его с Земли имеет форму дуги эллипса?

851. При каких конфигурациях диск верхней планеты имеет наибольшую фазу и как выглядит тогда Земля для этой планеты?

852. Вычислить фазу верхней планеты (угол TPS на рис. 30) по данному углу при точке T (Земля) и данным расстояниям — Земли (ST) и планеты (SP) от Солнца. Когда она наибольшая и чему она равна для Марса, Юпитера и Сатурна? (ВВ)

853. Экваториальный диаметр планеты Сатурн равен 120 600 км, а ее сжатие равно $1/10$. Чему равен полярный диаметр Сатурна? (ВВ)

854. Экваториальный и полярный радиусы Юпитера при среднем его расстоянии от Солнца и от Земли равны

18",71 и 17",51. Определить сжатие планеты и сравнить его со сжатием Земли.

855. Найти приближенный закон, по которому изменяется температура абсолютно черного тела в зависимости от его расстояния (R а. е.) от центра Солнца.

856. Вычислить температуру абсолютно черного шара, находящегося от Солнца на том же расстоянии, что и Меркурий, зная, что на расстоянии Земли от Солнца на 1 см² поверхности, перпендикулярной к его лучам, падает в минуту 1,99 малой калории (солнечная постоянная для Земли).

857. Два рисунка Марса (рис. VIII) сделаны у телескопа один через два часа после другого. Отождествить на них общие детали и, оценив угол поворота планеты за эти два часа, приблизительно определить время суточного вращения Марса. **Указание:** При оценке угла поворота не забыть, что видимый диск планеты есть проекция ее поверхности на картинную плоскость. Вы убедитесь, что уже два таких наблюдения в течение одной ночи не позволяют допустить для Марса время вращения в несколько часов или в несколько суток.

858. Влияет ли на определение видимого времени вращения планеты вокруг ее оси суточное вращение наблюдателя вместе с Землей? (ВВ)

859. Аналогично задаче 857 определить путем сравнения рисунков IX 1 и 2 и отдельно 5 и 6 период вращения Юпитера вокруг его оси. Приблизительно оценив его по двум зарисовкам, близким по времени, использовать затем рисунки 3 и 4, деля время, протекшее между ними, на число протекших периодов, что позволит определить период вращения более точно. (ВВ)

860. Допустим, что период вращения Марса установлен сравнением рисунка, сделанного Гюйгенсом 28 ноября 1659 г., и рисунка, сделанного 22 августа 1924 г. На сколько изменился бы вычисленный период вращения Марса, если бы Гюйгенс ошибся в датировке своего рисунка даже на целые сутки?

861. На сколько километров в час линейная скорость белого пятна на экваторе Юпитера, имеющего период

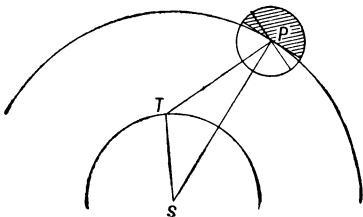


Рис. 30.

861. На сколько километров в час линейная скорость белого пятна на экваторе Юпитера, имеющего период

вращения $9^{\text{ч}}50^{\text{м}}$, превосходит скорость другого пятна, лежащего на той же широте, но имеющего период вращения $9^{\text{ч}}55^{\text{м}}$? (ВВ)

862. На каком расстоянии надо поставить международную свечу, чтобы она создала такую освещенность, как Венера в наибольшем блеске, дающая освещенность $8 \cdot 10^{-5}$ люкса? (ВВ)

863. Во время великого противостояния 1924 г. видимая звездная величина Марса была $-2,8$. Его расстояние от Солнца r было 207 млн. км, а ρ — расстояние от Земли составляло 56 млн. км. Какова будет звездная величина Марса во время наименее близкого противостояния: при расстоянии от Солнца $r' = 249$ млн. км и расстоянии от Земли $\rho' = 100$ млн. км? (ВВ)

864. Вывести формулу, выражающую звездную величину внешней планеты m при расстояниях ее от Солнца r и от Земли ρ , зная, что при среднем противостоянии, когда $r_0 = a$ и $\rho_0 = a - 1$ (где a — большая полуось ее орбиты в астрономических единицах), видимая звездная величина планеты равна m_0 . (ВВ)

865. Вычислить по формуле, данной в ответе к предыдущей задаче, звездную величину малой планеты при расстоянии ее от Солнца $r = 4,0$, и от Земли $\rho = 6,0$, если большая полуось ее орбиты $a = 3,0$, а звездная величина в среднем противостоянии равна 12,0. (ВВ)

866. Каков синодический период Деймоса для наблюдателя, находящегося на Марсе?

867. Фобос — внутренний спутник Марса — отстоит от его центра на 2,8 радиуса планеты. Диаметр Марса составляет 2,0 диаметра Луны. Во сколько раз угловой диаметр Марса, видимый с Фобоса, кажется больше, чем для нас кажется диаметр Луны? (ВВ)

868. Фобос отстоит от центра Марса на 2,8 радиуса планеты. Зная диаметр Марса и его расстояние от Солнца, диаметр Луны и диаметр Фобоса (15 км), определить, во сколько раз свет, даваемый Фобосом на Марсе во время его «полнолуния», слабее света, даваемого Луной на Земле в полнолуние, если отражательные способности Луны и Фобоса одинаковы. Во сколько раз меняется блеск Фобоса, видимого с Марса в «полнолунии» на горизонте и в зените? (ВВ)

869. Каков промежуток времени (выраженный в марсианских солнечных сутках) между двумя последовательными верхними кульминациями Фобоса, наблюдаемыми на Марсе? Период обращения Марса вокруг оси относительно Солнца равен $24^{\text{ч}}37^{\text{м}}$ средн. солн. времени. Звездный период обращения Фобоса равен $7^{\text{ч}}39^{\text{м}}$ средн. солн. времени. (ВВ)

870. На каком краю планеты, восточном или западном, спутники Юпитера вступают на его диск при своем прохождении перед ним?

871. Когда Юпитер виден по вечерам, то следуют ли тени его спутников за проекциями самих спутников на диск планеты во время их прохождений перед Юпитером или же эти тени опережают их?

872. Как происходит для наблюдателя, находящегося на Юпитере, суточное движение V спутника относительно горизонта и относительно звезд, если период его обращения равен 12 часам, а время вращения Юпитера приблизительно равно 10 часам? (Полак.)

873. Долготы трех из галилеевых спутников Юпитера, как они видимы с планеты, всегда связаны таким соотношением:

$$l_1 + 2l_3 = 3l_2 + 180^\circ.$$

Как располагаются I, II и III спутники Юпитера в тех случаях, когда Юпитер для наблюдателя, смотрящего с Солнца, виден «без спутников»? (Полак.)

874. Доказать, что если щель спектрографа установлена вдоль экватора быстро вращающейся планеты и луч нашего зрения лежит в плоскости этого экватора, то спектральные линии имеют вид прямых линий, наклонных к протяжению спектра. (ВВ)

XXI. КОМЕТЫ

Яркая комета состоит из маленького звездообразного светящегося *ядра*, окруженного туманным светящимся веществом (*голова*), из которого в сторону, противоположную Солнцу, тянется *хвост* кометы. У слабых и очень слабых (телескопических) комет хвост часто отсутствует. Кометы движутся около Солнца по законам Кеплера. Меньшая часть их движется по эллипсам, периодически возвращаясь

к Солнцу (периодические кометы), а большая часть движется по параболам *).

Твердым является только ядро кометы; оно отражает солнечный свет. Голова и хвост кометы состоят из сильно разреженных газов и частично, может быть, из мельчайшей пыли. Эти газы светятся под действием солнечных лучей в результате явлений, напоминающих флюоресценцию или свечение газа в гейслеровой трубке,— это не простое отражение света. Если бы кометы целиком светили отраженным светом, то блеск их менялся бы обратно пропорционально квадрату расстояния от Солнца. На самом же деле он изменяется быстрее. Из наблюдений получается закон обратной пропорциональности четвертой степени расстояния от Солнца (в среднем). Газы поступают в хвост и голову кометы из ее ядра, откуда они выделяются при нагревании Солнцем. Излучение Солнца оказывает давление на молекулы хвоста, причем давление это сильнее, чем притяжение Солнцем. Поэтому Солнце в конечном счете отталкивает хвост кометы, и он почти всегда направлен в сторону, противоположную Солнцу.

Многие задачи по кометам построены на материале предыдущих разделов.

ПЕРВЫЙ КОНЦЕНТР

875. Как отличить при наблюдении комету без хвоста от обычной туманности? (ВВ)

876. Какие наблюдения доказали бы, что кометы не находятся в земной атмосфере, как это предполагалось в древности?

877. Можно ли длину кометного хвоста в километрах определить с большой точностью?

878. По рисунку кометы Донати 1858 г. (рис. X) определить длину кометного хвоста в километрах, зная, что расстояние кометы от Земли равно 57 млн. км. Указание: Хвост считать лежащим в плоскости, перпендикулярной к лучу зрения. (ВВ)

879. Может ли комета, периодически возвращающаяся к Солнцу, вечно сохранять свой вид неизменным?

880. С помощью третьего закона Кеплера вычислить период кометы, афелий которой находится на расстоянии

*) Орбиты комет, считаемые параболическими, вероятно, являются в действительности крайне вытянутыми эллиптическими орбитами.

140 000 а. е. что составляет около половины расстояния до ближайшей известной звезды.

881. У орбиты кометы Энке большая полуось составляет 2,22 а. е., а эксцентриситет 0,847. Начертить орбиту этой кометы и определить по чертежу ее расстояние от Солнца в перигелии и в афелии. (Набоков и Воронцов-Вельяминов.)

882. При приближении к Земле и к Солнцу блеск некоторой кометы ослабел. Чем можно объяснить это явление? (ВВ)

883. Одна из комет, открытых Г. Н. Неуйминым, проходила через перигелий 9 марта 1916 г. Позднее наблюдались кометы со сходными элементами орбит, прошедшие через перигелий 16 января 1927 г., 22 июня 1932 г. и 1 мая 1943 г. Если это различные проявления одной и той же кометы, то каков ее период обращения вокруг Солнца? (ВВ)

ВТОРОЙ КОНЦЕНТР

884. В точности ли одинаковы орбиты какой-либо периодической кометы при ее последовательных возвращениях к Солнцу?

885. Как может быть, что орбиты комет, почти совпадающие на протяжении сотен миллионов километров от Солнца, могут иметь периоды, отличающиеся друг от друга на сотни лет?

886. Вычислить расстояние кометы 1866 I от Солнца в афелии по следующим данным: эксцентриситет $e = 0,905$, расстояние в перигелии $q = 0,976$ а. е.

887. Комета 1882 II имеет период обращения $T = 770$ лет и перигелийное расстояние 0,0078. Найти: 1) большую полуось, 2) эксцентриситет, 3) скорость в перигелии, 4) скорость в афелии. (Полак.)

888. Кометы с очень сходными элементами прошли через перигелий 31 января 1790 г., 24 февраля 1858 г., 11 сентября 1885 г. Если это одна и та же комета, то каков период ее обращения около Солнца и какова большая полуось ее орбиты? (ВВ)

889. Орбиты двух комет лежат в плоскости эклиптики и имеют перигелийные расстояния, равные 0,5 и 2,0 а. е. Каждая из комет имеет хвост длиной 150 млн. км. Может ли какая-либо из этих комет или обе зацепить своим хвостом Землю? (ВВ)

890. От каких условий зависит видимая угловая длина кометных хвостов?

891. Пусть комета движется по эллиптической орбите, близкой к параболе. Как изменится большая полуось ее орбиты при небольшом увеличении ее скорости в перигелии? (ВВ)

892. Скорость кометы, движущейся по параболической орбите, обратно пропорциональна квадратному корню из ее расстояния от Солнца. На расстоянии Земли комета имеет скорость около 40 км/сек. Какова скорость кометы, движущейся по параболе, когда она находится на расстоянии 100 000 а. е. от Солнца?

893. Перигелийное расстояние большой кометы 1882 г. составляло 0,00775 а. е. Какова была линейная скорость в перигелии того ее компонента, который имел период обращения 769 лет, после того, как эта большая комета распалась на четыре меньших кометы?

894. На сколько скорость другого компонента распавшейся кометы 1882 г. была больше, чем у компонента, описанного в предыдущей задаче, если при том же перигелийном расстоянии период обращения этого компонента составлял 875 лет?

895. Предположим, что две небольшие массы движутся вокруг Солнца по одной и той же вытянутой орбите, но что одна находится несколько впереди другой. Как будет изменяться их взаимное расстояние с изменением их положения на орбите? Дает ли это намек на объяснение изменений размеров кометных голов?

Указание: Для получения ответа на первый вопрос воспользоваться законом площадей.

896. Предположим, что частицы, из которых составлена голова кометы, имеют почти в точности одну и ту же точку перигелия, но несколько различные точки афелия. Как изменились бы размеры кометы с изменением ее положения на орбите?

897. По теории отталкивания может ли кометный хвост быть одинаково длинным, когда комета приближается к Солнцу и когда она удаляется от него?

898. Какова будет траектория частицы кометного хвоста, если действующая на нее отталкивательная сила Солнца равна его притяжению?

899. Какова будет (качественно) траектория частицы кометного хвоста, если на нее действует сила солнечного отталкивания, превосходящая притяжение к Солнцу?

900. Какова будет траектория частицы кометного хвоста, если сила солнечного отталкивания для нее в тысячи раз превосходит тяготение?

901. Какова будет траектория частицы кометного хвоста, если для нее отталкивательная сила Солнца составляет малую долю тяготения?

902. Если Земля не находится слишком близко к плоскости кометной орбиты, то в первом приближении тип ее хвоста по классификации Ф. А. Бредихина можно определить, судя по тому, идет ли хвост по проекции радиуса-вектора кометы на небесную сферу (I тип), отклоняется ли он от нее значительно, несколько искривляясь, если длина его достаточна (II тип), или отклоняется от него очень сильно (III тип). Любая точка проекции радиуса-вектора на небесную сферу удовлетворяет уравнению

$$\operatorname{tg} \delta = [\operatorname{tg} \delta_0 \sin (\alpha_1 - \alpha) - \operatorname{tg} \delta_1 \sin (\alpha_0 - \alpha)] : \sin (\alpha_1 - \alpha_0),$$

где α и δ — координаты точки этой проекции, α_0 и δ_0 — координаты Солнца, а α_1 и δ_1 — координаты ядра кометы (привести те или другие, если надо, к равноденствию года, соответствующему координатной сетке, на которой нарисована комета). Задавшись приблизительно подходящим значением α , вычисляют соответствующее δ . Вычислив таким образом координаты двух или более точек, наносят их на координатную сетку рисунка кометы и соединяют их прямой линией с ядром кометы. (ВВ)

Пользуясь этими указаниями, определить типы хвостов кометы 1910 I, зарисованных на звездном атласе (рис. 31). Для момента зарисовки (6,17 февраля среднего гринвичского времени) координаты ядра кометы $\alpha_1 = = 326^\circ 14'$, $\delta_1 = 5^\circ 36'$. Координаты Солнца $\alpha_0 = = 318^\circ 43'$, $\delta_0 = -15^\circ 59'$. Так как хвосты комет всегда направлены от Солнца, то по рисунку видно, что α надо брать не менее $21^{\text{ч}} 46^{\text{м}}$ или $326\frac{1}{2}^\circ$. (По С. В. Орлову).

903. Вычислить, во сколько раз должен измениться общий блеск кометы при уменьшении ее расстояний от Земли Δ и от Солнца r вдвое, если закон изменения блеска комет выражается формулой $1 : r^4 \Delta^2$.

904. На сколько изменится видимая звездная величина кометы при удалении ее от Солнца и от Земли вдвое, если закон изменения блеска кометы выражается формулой

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{\Delta_0^2 r_0^4}{\Delta_1^2 r_1^4},$$

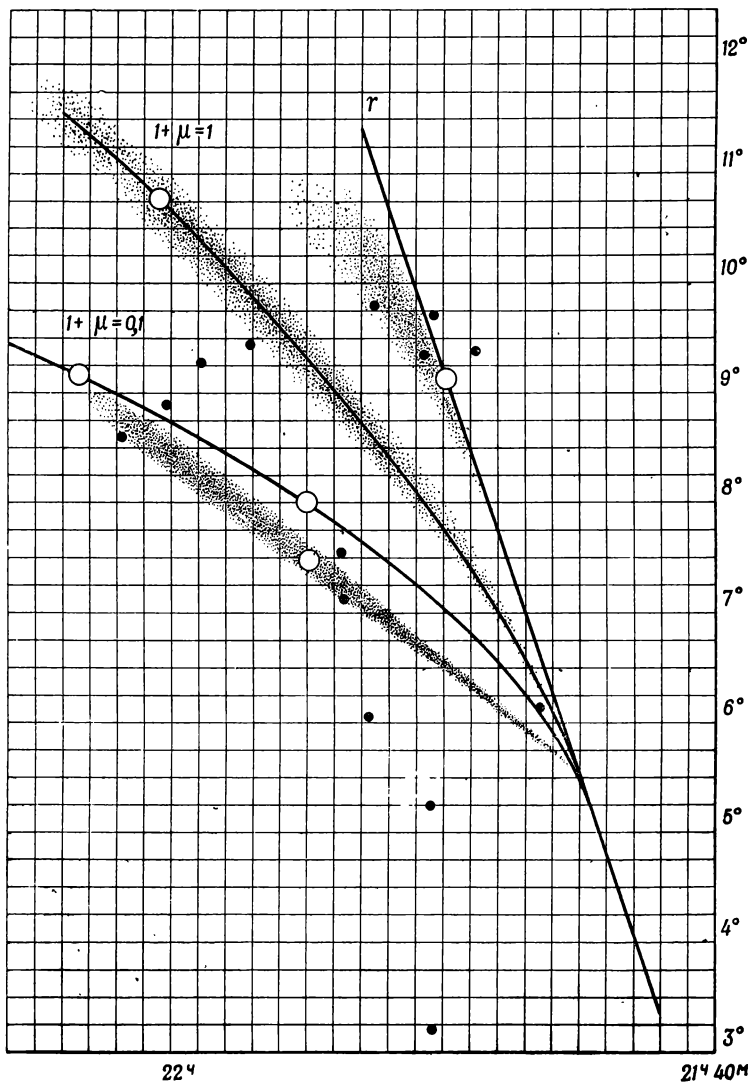


Рис. 31. Рисунок кометы 1910 с тремя хвостами.

где Δ — расстояние ее от Земли, а r — расстояние ее от Солнца?

905. На расстоянии от Земли $\rho = 0,5$ и от Солнца $r = 1,5$ суммарный блеск кометы равнялся блеску звезды 8,0 величины. Предполагая, что блеск кометы меняется, как обычно, по закону $1 : r^4 \rho^2$, вычислить звездную величину кометы, которую она имела бы на расстояниях $\rho = 1$, $r = 1$. (ВВ)

906. Удалившись от Солнца и от Земли вдвое, ядро некоторой кометы ослабило блеск в 16 раз. Какую долю света, испускаемого этой кометой, составляет собственное ее излучение (*не отраженные от Солнца лучи*)? (ВВ)

907. Почему наблюдения изменений блеска комет не позволяют считать эти небесные тела самосветящимися газовыми шарами, подобными звездам? (ВВ)

908. Молекулы циана (CN) выделяются с поверхности кометного ядра при температуре 200°C под действием нагревания солнечными лучами. Покинут ли они ядро кометы, если оно представляет собой глыбу порядка $2R = 100 \text{ м}$ в диаметре, имеющую плотность $\delta = 2,7 \text{ г/см}^3$? (ВВ)

909. Что произойдет с ядром кометы, если оно состоит из скопления метеоритных глыб и подходит часто на короткое расстояние к Солнцу? (ВВ)

910. По гипотезе советского астронома С. К. Всехсвятского, периодические кометы образуются из вещества, выбрасываемого при мощных извержениях на Юпитере. Какова должна быть наименьшая начальная скорость извержения вещества при таком взрыве, если пренебречь сопротивлением атмосферы Юпитера?

XXII. МЕТЕОРЫ И МЕТЕОРИТЫ

I

Мелкие небесные тела вроде камней и пыли, носящиеся в мировом пространстве (невидимые с Земли), называются *метеорными телами*. Самые многочисленные и мелкие из них, попадая с большой скоростью в атмосферу Земли, накаляются, накаляют окружающий их воздух и испаряются, не достигнув поверхности Земли. Это — *падающие звезды* или *метеоры*. Более крупные метеорные тела летят в атмосфере в виде яркого огненного шара — это

так называемые *болиды*. Если тело крупное и падает на Землю, то его называют *метеоритом*.

Если пути метеоров по звездному небу, наблюдающихся за одну ночь, нанести на звездную карту, то иногда большинство их путей, продолженных назад, пересечется почти в одной точке, называемой *радиантом*. Потоки метеоров именуются по названию того созвездия, в котором находится их радиант, участвующий в суточном вращении неба и тем доказывающий их внеземное происхождение. Схождение путей метеоров в радианте показывает, что метеоры несутся по параллельным путям.

Радиант — следствие явления перспективы. Метеоры, принадлежащие к определенному радианту, наблюдаются в течение одного или нескольких определенных дней в году и ежегодно. Это показывает, что путь таких метеорных тел в пространстве пересекает орбиту Земли в определенной точке, где Земля бывает в один и тот же день года. Такие потоки метеоров движутся около Солнца роем или вереницей по законам Кеплера, по определенной орбите.

II

Периодически возвращающиеся к Солнцу метеорные рои, под действием приливов, вызываемых Солнцем и планетами, постепенно растягиваются

вдоль орбиты и вообще рассеиваются. Метеоры, летящие в пространстве изолированно и не принадлежащие к радиантам, называются *спорадическими*.

Высоту точек появления и потухания метеоров и болидов можно определить так. Из точек A и B (концов базиса известной длины, пересекающего меридиан под известным углом) два наблюдателя одновременно видят и зарисовывают на звездной карте один и тот же метеор.

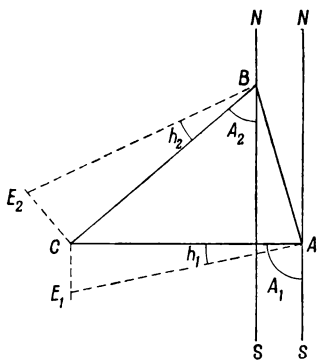


Рис. 32. Определение высоты метеора.

Благодаря параллаксу одна и та же точка метеорного пути будет иметь для наблюдателя A горизонтальные координаты h_1 и A_1 , а для наблюдателя B — h_2 и A_2 . Начертим (рис. 32) в некотором масштабе базис AB и в обоих его концах про-

ведем направление меридианов (считаемых параллельными). Из точки A проводим прямую, имеющую азимут A_1 , и из точки B — прямую с азимутом A_2 — до их пересечения в точке C . Из точек A и B проводим прямые AE_1 и BE_2 под углами h_1 и h_2 к линиям AC и BC (соответственно). В точке C восставляем перпендикуляры к AC и к BC до их пересечения с прямыми AE_1 и BE_2 в точках E_1 и E_2 . Отрезки CE_1 и CE_2 и будут высотами над поверхностью Земли той точки пути метеора, координаты которой взяты. Если наблюдения точны, то $CE_1 = CE_2$. В противном случае надо взять среднее.

ПЕРВЫЙ КОНЦЕНТР

911. Как можно доказать, что в действительности звезды с неба не падают?

912. Когда среди звезд наблюдается полет яркого метеора, затмевающего своим блеском звезды, как это должно выглядеть для наблюдателя, рассматривающего Землю с Луны? (ВВ)

913. Метеоры из потока Леонид имеют радиант с прямым восхождением 10^h и наблюдаются 14 ноября. В какое время ночи они видимы?

914. Зная, что период обращения потока Леонид равен $33\frac{1}{4}$ годам, определить большую полуось их орбиты.

915. Оценить примерную ширину метеорного потока Персеид в километрах, зная, что они наблюдаются с 16 июля по 22 августа. (ВВ)

916. На звездной карте (рис. 33) нанесены пути метеоров, наблюдавшихся в течение одного вечера. Определить местоположение радианта и его экваториальные координаты (пользуясь звездным атласом или звездной картой). (ВВ)

917. Фотографирование метеоров показало, что радиант их занимает на небе некоторую площадь, т. е. продолженные назад их пути не пересекаются строго в одной точке. На что указывает этот факт? (ВВ)

918. Доказать, что истинная длина пути метеора в атмосфере

$$L^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2 \cos l,$$

где r_1 и r_2 — расстояния начала и конца пути метеора от наблюдателя, а l — видимая угловая длина его пути. (Астапович.)

919. Болид, замеченный на расстоянии 0,5 км от наблюдателя, имел видимый диск вдвое меньше лунного. Каков был его действительный диаметр? (ВВ)

920. Если нанести на географическую карту пункты падения известных метеоритов, упавших в азиатской части СССР, то окажется, что почти все они расположены вблизи линии великой Сибирской железнодорожной магистрали. Чем это объяснить? (Астапович.)

921. Два метеорита, летящих в плоскости эклиптики со скоростью 30 км/сек перпендикулярно к радиусу-вектору их орбиты относительно Солнца, пронизывают атмосферу Земли в противоположных направлениях. При этом начальное направление их скорости в атмосфере совпадает с касательной к земному шару. Какова будет дальнейшая судьба этих метеоритов?

Указание: Сопротивления атмосферы в расчет не принимать. (ВВ)

922. Какова кинетическая энергия метеорита массой 1 г, летящего со скоростью в 60 км/сек? (Астапович.)

923. Вследствие сопротивления воздуха скорость падения метеорита вблизи земной поверхности постоянна и составляет

$$v = 35,5 \sqrt[6]{M} \text{ м/сек},$$

где M — масса метеорита в граммах. Найти скорость падения метеоритов весом в 1 мг и в 1 т. (Астапович.)

924. Глубина в сантиметрах, на которую зарываются железные метеориты, приблизительно дается формулой

$$D = 18,3 \sqrt[3]{M},$$

где M — масса метеорита в килограммах. Найти D для метеоритов весом 0,1 и 100 кг. (Астапович.)

ВТОРОЙ КОНЦЕНТР

925. Метеор вспыхнул около Веги и потух около Альтаира. Найти длину пути этого метеора в градусах, сняв координаты начала и конца пути по звездной карте или глобусу.

926. На звездной карте зарисован путь метеора (рис. 33), пролетевшего около звезды Веги в созвездии Лиры. Определить его длину в градусах, пользуясь формулами сферической тригонометрии.

927. Если в солнечную систему влетит компактный рой метеоритов и благодаря возмущающему действию какой-либо планеты станет двигаться по эллиптической орбите, останется ли он компактным?

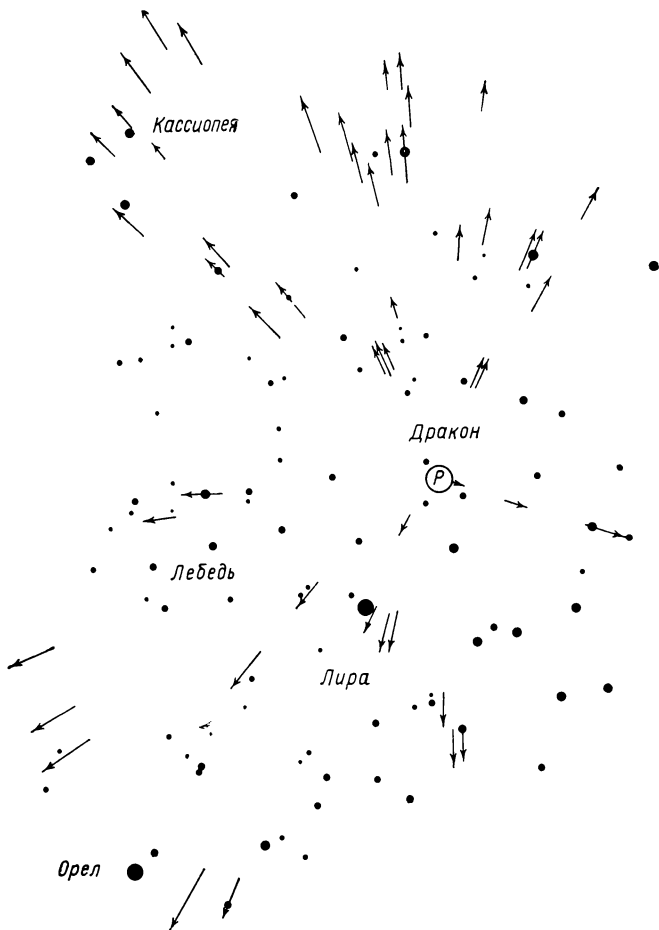


Рис. 33. Пути метеоров, нанесенные на карту.

928. Какое из двух образований считать старше: кольцо метеорных тел, тянущееся вокруг Солнца, или поток метеорных тел, имеющий сгущение?

929. Земля движется со скоростью $29,8 \text{ км/сек}$ около Солнца. Примем эту скорость за круговую. Каковы

пределы относительной скорости, с которой Земля сталкивается с метеорами, пересекающими ее путь по параболической орбите? (Иванов.)

930. Чем объяснить, что к утру число спорадических метеоров увеличивается? (ВВ)

931. Почему метеорный поток, равномерно растянутый по орбите, обычно только однажды в году встречается с Землей?

932. Доказать, что если ω есть средняя угловая скорость метеора, r — расстояние его от наблюдателя, а ψ — его угловое расстояние от радианта, то линейная скорость метеора $v = \frac{r}{\sin \psi} \omega$, если ω мало. (Астапович.)

933. Вычислить в международных свечах силу света метеора, если он летит на высоте 100 км над поверхностью Земли в зените наблюдателя, имея блеск звезды 1-й величины, и если звездная величина международной свечи на расстоянии в 1 км равна 0,8. (ВВ)

934. Допустим, что наблюдатели, расположившиеся друг подле друга, видят все метеоры, появляющиеся над площадью радиусом в 300 км. Если они замечают в среднем по 30 метеоров ежечасно, то сколько их всего падает на Землю за сутки?

935. 9 октября 1933 г. повсеместно наблюдался обильный дождь метеоров. В максимуме близ зенита наблюдалось 500 метеоров за 1 минуту. Полагая, что наблюдателям на одной станции были видны все метеоры, появлявшиеся над площадью круга радиусом в 300 км, определить, каково было среднее расстояние между метеорами, если их скорость относительно Земли составляла 40 км/сек?

936. Допуская, что Земля сталкивается ежесуточно с 20 000 000 метеоров, определить число метеоров, проходящих на пространство внутри куба со стороной в 1600 км.

937. Сколько столкновений с метеорами испытывала бы Земля за сутки, если бы пространство было ими заполнено так, чтобы разность координат двух соседних метеоров (по всем трем направлениям) составляла 160 км?

938. Определите описанным на стр. 158 графическим способом высоту метеора над поверхностью Земли по следующим данным. Наблюдатели А и В находились друг от друга на расстоянии 42 км, и линия, их соединяющая, пересекала полуденную линию под углом 45°. Для середи-

ны пути метеора наблюдатель A нашел координаты $h_1 = 35^\circ$, $A_1 = -65^\circ$, а наблюдатель B $h_2 = 45^\circ$, $A_2 = -72^\circ,5$. (ВВ)

939. В пункте с координатами $\varphi = 55^\circ 48',4$; $\lambda = 37^\circ 54',6$ начало появления метеора имело координаты $A = -52^\circ,1$, $h = 24^\circ,2$. Эта же точка по наблюдениям в пункте с широтой $\varphi = 56^\circ 3'$ и долготой $\lambda = 40^\circ 14'0$ имела координаты $A = -9^\circ,8$, $h = 31^\circ,9$. Найти длину b и азимут a базиса наблюдений, а затем определить H — высоту появления метеора над земной поверхностью графическим способом. (Астапович.)

940. Исследование структуры железных метеоритов показывает, что они образовались, по-видимому, в условиях быстрого охлаждения массы, находившейся в поле слабого тяготения, но огромного давления. Какое значение в свете этих данных имеет их химический состав для изучения недр Земли? (ВВ)

941. В пункте с широтой $\varphi = 53^\circ 8'$ 25 ноября 1916 г. в 11^ч49^м дня в зените появился яркий огненный шар (болид), упавший на Землю в виде двух метеоритов весом в 50 и 200 кг. Определить созвездие, по направлению от которого метеорит падал на Землю. Указание: Применить перевод солнечного времени в звездное. (Каменьщиков.)

942. Вычислить, какова вероятность того, что падающий вертикально на Землю метеорит упадет какому-нибудь определенному человеку на голову, зная, что поверхность Земли равна $5,1 \cdot 10^{18} \text{ см}^2$? (ВВ)

943. Какая часть энергии движения метеорита, летящего со скоростью 60 км/сек, достаточна для его полного испарения, если на испарение 1 г каменного метеорита идет 10^8 эргов энергии. Куда расходуется остаток кинетической энергии метеорита? (Астапович.)

944. 1 марта 1929 г. в Западной Сибири упал метеорит «Хмелевка». На какой высоте над Землей он перестал светиться, если наблюдения, сделанные в трех различных местах в момент прекращения свечения, таковы:

Селение	Видимая высота точки погасания	Расстояние d
Екатерининское	12°	34,8 км
Сыщикова	30°	13 »
Упары	20°	30 »

(Астапович.)

XXIII. СОЛНЦЕ

I

Солнце представляет собой раскаленный газовый шар, вращающийся не как твердое тело. Наибольшая угловая скорость вращения имеет место на его экваторе. Период вращения различных зон Солнца относительно звезд называется *звездным* (или *сидерическим*) периодом их вращения. Он составляет на экваторе около 25 суток.

Синодическим периодом вращения Солнца вокруг оси называется период его вращения относительно Земли (которая обращается вокруг Солнца в том же направлении, как и оно само вокруг своей оси). Синодический период вращения Солнца составляет на экваторе около 27 суток.

Пятна на Солнце являются охлажденными (до 4700°C) областями солнечных газов. В них происходят вихревые движения и «дно» пятен часто лежит ниже окружающей ослепительно яркой поверхности (*фотосферы*). Видимая поверхность Солнца — фотосфера — окружена атмосферой Солнца — *хромосферой*, над которой возвышаются струи горячих газов (*протуберанцы*). Число пятен меняется с периодом в 11 лет (в среднем).

Полярные сияния на Земле представляют собой электрическое свечение стратосферы, происходящее на больших высотах; это свечение возникает под действием корпускулярного солнечного излучения, берущего свое начало, главным образом, в областях его, занятых пятнами. С увеличением числа пятен на Солнце учащаются и усиливаются полярные сияния.

II

Экватор Солнца наклонен к эклиптике на $7^{\circ}10',5$, а долгота его восходящего узла равна $73^{\circ}47'$. Пятна медленно перемещаются в окружающей их среде. Среди фраунгоферовых линий, видимых в спектре Солнца, некоторые вызваны поглощением его света в земной атмосфере.

Изучение солнечной энергии и определение температуры Солнца основано на применении важнейших законов фотометрии и теории излучения, излагаемых в каждом курсе физики для высших учебных заведений.

ПЕРВЫЙ КОНЦЕНТР

945. Горизонтальный суточный параллакс Солнца равен $8'',8$, а угловой радиус Солнца равен $16',0$. Найти отсюда линейный радиус, поверхность и объем Солнца по сравнению с Землей.

946. Сколько времени потребовалось бы, чтобы на самолете облететь Солнце по его экватору при скорости в 800 км/час . *Указание:* Нужные данные взять из таблиц.

947. Один из максимумов солнечных пятен был в 1938 г. Много ли пятен было в 1950 г., в 1954 г.?

948. По фотографии Солнца (рис. XI) определить число Вольфа, характеризующее солнечную деятельность в день, когда был сделан снимок. *Указание:* Степень покрытия Солнца пятнами характеризуется условным «числом» солнечных пятен $W = n + 10N$, где n — число отдельных пятен, а N — число групп пятен, включая изолированные пятна. (BB)

949. Какой угловой диаметр должно иметь солнечное пятно, чтобы его линейный диаметр равнялся диаметру Земли?

950. Зная, что самые небольшие предметы, которые можно видеть, должны представляться под углом не менее $2'$, вычислить, каков диаметр самого малого солнечного пятна, которое может быть видимо простым глазом через закопченное стекло.

951. Если самое маленькое солнечное пятно, видимое нами, имеет диаметр $0'',7$, то каков его линейный диаметр?

952. По фотографии Солнца (рис. XI), зная угловой диаметр его ($32'$) и параллакс ($8'',8$), определить путем измерения линейкой размер самого крупного из пятен в сравнении с диаметром Земли. (BB)

953. Почему в 1937 г. в СССР было зарегистрировано гораздо больше полярных сияний, чем в 1933 г.?

954. Измерить на рисунке XIII положения какой-либо детали протуберанца и оценить скорость ее движения в километрах в секунду. (BB)

955. В окрестностях солнечного пятна в спектре некоторой точки диска красная водородная линия H_α ($\lambda = 6563,0 \text{ \AA}$) сместилась так, что ее измеренная длина волны оказалась равной $6566,0 \text{ \AA}$. Какова лучевая скорость водорода в этой точке?

956. На сколько ангстремов изменится длина волны зелено-голубой линии водорода H_β ($\lambda = 4861,5 \text{ \AA}$) в точке

солнечного диска, где водород удаляется от нас со скоростью 137 км/сек?

957. Какую видимую звездную величину имеет Солнце, наблюдаемое с ближайшей звезды? Расстояние до нее составляет около 270 000 а. е. (Полак.)

958. Сколько метеоритного вещества должно ежегодно падать на 1 м² поверхности Земли со скоростью 40 км/сек, чтобы сообщаемая им при этом теплота была эквивалентна солнечному нагреванию, составляющему в среднем 5 больших калорий в минуту на 1 м²?

959. Солнечная постоянная равна 2 кал/см² в минуту, в среднем же Земля получает от Солнца 5 больших калорий на 1 м² в минуту. Сколько килограммов метеорного вещества должно было бы падать на Землю ежегодно со скоростью 40,2 км/сек на каждый ее квадратный метр, чтобы образовать количество тепла, равное получаемому в среднем 1 м² земной поверхности за год?

960. Какая масса, падающая с высоты 100 м, приобретет в конце своего падения кинетическую энергию, равную энергии солнечного излучения, получаемой в течение часа 10 квадратными метрами земной поверхности? Указание: Допустить, что 50% ее предварительно поглощается атмосферой. Механический эквивалент тепла равен 427 кгм.

ВТОРОЙ КОНЦЕНТР

961. Чему равны астрономическая широта и долгота точки пересечения оси вращения Солнца с небесной сферой в северном небесном полушарии?

962. Если время вращения солнечного пятна на широте 45° равно 28,09 суток, то каково видимое нами синодическое время вращения этого пятна?

963. По промежутку времени между снимками пятен (равному 2,0 суток) и по углу поворота их относительно центрального меридиана, равному 24°, определить звездный и синодический периоды вращения Солнца вокруг своей оси.

964. Путем измерения воспроизведенных на рисунке XII зарисовок положения солнечных пятен определить синодический и звездный периоды вращения Солнца вокруг своей оси. (ВВ)

965. Акад. А. А. Белопольский установил с помощью спектрального анализа, что точки экватора Солнца враща-

ются с линейной скоростью 2 км/сек. Каков звездный период вращения Солнца вокруг своей оси?

966. На экваторе Солнца средняя угловая скорость вращения составляет $14^{\circ},37$ в сутки. За 25,05 суток

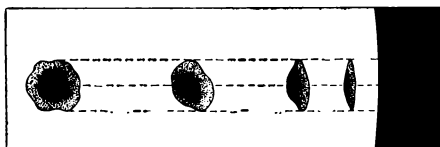


Рис. 34.

одно из пятен, видимых вблизи экватора, описало дугу в $361^{\circ},5$. Какова скорость перемещения этого пятна по отношению к окружающим геогазам в километрах в секунду? (ВВ)

967. Для скорости суточного вращения солнечных пятен была выведена формула

$$\xi = 14^{\circ},37 - 2^{\circ},79 \sin^2 \varphi,$$

где φ есть гелиографическая широта пятен.

Каковы периоды вращения Солнца на его экваторе, на широте 30° и на широте 45° ?

968. Сколько времени нужно пятну на экваторе Солнца для того, чтобы обогнать на один целый поворот другое пятно, находящееся на широте 30° . Периоды вращения Солнца на этих широтах соответственно равны 25,05 и 26,34 суток.

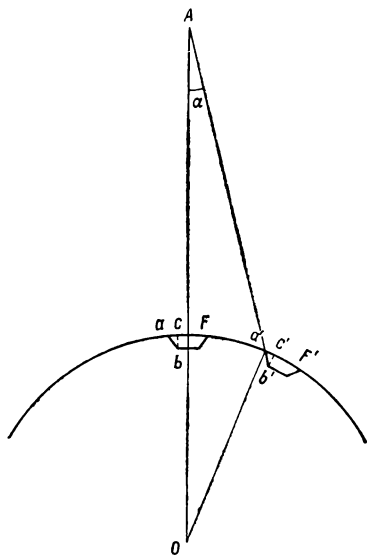


Рис. 35.

969. Известно, что при вращении Солнца ближайший к его центру край полутени пятен часто перестает быть видимым (рис. 34), что доказывает воронкообразную форму пятен. Определить глубину солнечного пятна bc в километрах (рис. 35), зная расстояние до Солнца. Для данного

пятна его видимое угловое расстояние от центра диска Солнца, при котором стенка воронки $a'b'$ совпала с лучом зрения, измеренное микрометром, было $10'$. $a's' = ac$ по тому же измерению равно $10'$. В треугольнике $a'b'c'$ сторону $a'b'$ можно считать параллельной линии OA , причем наблюдатель находится в A , а центр Солнца в O . (ВВ)

970. На рисунке XIV воспроизведены спектры Солнца. Верхний снят при зенитном расстоянии Солнца 30° , а нижний — при зенитном расстоянии 87° . Нижняя полоса является при этом продолжением верхней, и линии, находящиеся на верхней полосе справа, на нижней полосе повторяются слева. Путем сравнения этих спектров найти, какие линии спектра можно признать за теллурические (т. е. вызванные поглощением солнечного света в земной атмосфере). (ВВ)

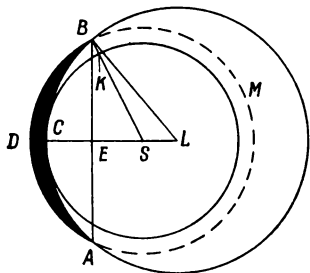


Рис. 36.

971. В спектре хромосферы, снятом объективной призмой во время полного затмения солнца, линии химических элементов видны в виде узких серпов. Причина этого явления ясна из рисунка 36, где S — центр Солнца L — центр Луны. Зачернена часть хромосферы, не закрытая Луной. Допустим, что на спектрограмме длина дуг хромосферы передается без искажений. Тогда она зависит для каждой из дуг от высоты, на которую атомы данного элемента поднимаются над поверхностью Солнца M . Пользуясь рисунком 36, определить высоту $h = BK = DC$ по измеренной на фотографии длине дуги (хорды) AB , зная радиус Солнца r и Луны R . (ВВ)

972. Вычислить в международных свечах световой поток, испускаемый Солнцем, если освещение, даваемое им на среднем расстоянии Земли от Солнца, равно 135 000 метро-свечей. Вычислить также силу света одного квадратного сантиметра солнечной поверхности.

973. Используя данные задачи 972, выразить полный поток солнечного излучения в люменах, а поверхностную яркость — в ламбертах.

974. На основании данных предыдущей задачи вычислить в ламбертах поверхностную яркость идеально белой поверхности (альбедо = 1), расположенной от Солнца на расстоянии Земли.

975. Определить световую эффективность солнечного света и сравнить с таковой для лучших искусственных источников света, дающих 1—2 свечи на ватт. Указание: Полную мощность солнечного излучения принять равной $3,79 \cdot 10^{26}$ ватт.

976. Зная, что солнечная постоянная равна 2 кал/см^2 в минуту, вычислить полную мощность солнечной энергии в лошадиных силах.

977. Рассчитать толщину слоя льда, окружающего Землю, который солнечные лучи, перпендикулярные к земной поверхности, способны были бы растопить в течение часа, приняв солнечную постоянную равной 2 кал/см^2 в минуту.

978. Вычислить время, необходимое для того, чтобы Солнце могло растопить слой льда толщиной в 15 м, окружающий его поверхность.

979. Вычислить стоимость солнечной энергии, падающей на Землю в течение одной секунды, приняв стоимость киловатт-часа за 4 копейки, а солнечную постоянную равной 2 кал/см^2 в минуту.

980. Максимум энергии в солнечном спектре приходится на длину волны 4700 Å. Определить температуру Солнца по закону Вина

$$\lambda_{\max} = \frac{c}{T}$$

(постоянная этого закона равна 0,288).

981. Формула Вина

$$E = c \cdot \lambda^{-5} e^{-\frac{c_2}{\lambda T}}$$

представляет собой приближение к точной формуле Планка. Пользуясь ею, определить температуру Солнца, зная, что по измерениям, произведенным с помощью спектроболометра, энергия солнечного спектра в длинах волн 4330 и 8660 Å соответственно равна 456 и 174 (в условных единицах). В формуле Вина $c_2 = 1,432$, λ выражено в сантиметрах, а буквой E обозначена энергия. (ВВ)

982. Для определения солнечной постоянной впервые был применен пиргелиометр, состоящий из цилиндриче-

ской коробки, передняя круглая стенка которой установлена перпендикулярно к солнечным лучам и покрыта сажей.

В коробку налита вода и вставлен термометр. Вывести формулу для определения солнечной постоянной, обозначив солнечную постоянную (без учета поглощения в атмосфере) через I . Нагреваемая поверхность коробки равна p . За время dt в объеме V вода теплоемкости c , имевшая до нагревания температуру t_1 , нагрелась до t_2 градусов. Охлаждающаяся при лучеиспускании поверхность коробки равна P . Потеря тепла лучеиспусканием на единицу поверхности в минуту составляла j .

Указание: Нагреванием самой коробки и термометра пренебречь. (ВВ)

983. Взяв известное значение солнечной постоянной $s = 2 \text{ кал/см}^2$ в минуту, вычислить по закону Стефана — Больцмана ($E = \sigma T^4$) температуру Солнца. Известны: расстояние от Солнца $R = 1,5 \cdot 10^8 \text{ км}$, радиус Солнца $r = 6,9 \cdot 10^5 \text{ км}$. Постоянная закона Стефана $\sigma = 5,73 \cdot 10^{-6}$, механический эквивалент тепла $a = 4,18 \times 10^7$ эргов.

984. На сколько должна измениться температура поверхности Солнца, чтобы вызвать изменение солнечной постоянной на 1%?

985. Объяснить, почему разные способы определения температуры поверхности Солнца дают немного различные результаты.

986. Вычислить температуру абсолютно черной сферы, расположенной в непосредственной близости к солнечной фотосфере.

987. По теории Гельмгольца, энергия солнечного излучения могла бы поддерживаться за счет сжатия солнечного шара со скоростью 35 м в год. Когда при такой скорости сжатия Солнца его видимый угловой диаметр уменьшился бы на $0'',1$, т. е. на величину, доступную измерению современными приборами? (ВВ)

988. Чему равна работа сил тяготения, которая получилась бы при сжатии Солнца от бесконечно больших размеров до современного значения его радиуса? (ВВ)

989. Солнце испускает в год $2,2 \cdot 10^{29}$ больших калорий лучистой энергии. Предполагали, что потеря этой теплоты возмещается тем, что на поверхность Солнца падает большое число метеоритов. Вычислить, на сколько должна увеличиться в год масса Солнца, если считать, что метеориты падают из бесконечности, причем постоянная силы

тяготения $k = 6,6 \cdot 10^{-8}$ в системе CGS, а радиус Солнца $R = 6,9 \cdot 10^5$ км.

990. Исходя из соотношения между массой и энергией, рассчитать, на сколько должна ежегодно уменьшаться масса Солнца, если Солнце ежегодно излучает $1,2 \cdot 10^{41}$ эргов.

991. Можно принять, что масса Солнца ($2 \cdot 10^{33}$ г) на одну треть состоит из водорода. Если Солнце теряет ежегодно энергию $1,2 \cdot 10^{41}$ эргов, на сколько лет еще будет обеспечено его излучение, если оно пополняется образованием гелия из водорода? Указание: При превращении 1 г водорода в гелий, благодаря эффекту «упаковки», выделяется $6,6 \cdot 10^{18}$ эргов энергии.

XXIV. ДВИЖЕНИЯ И ПРИРОДА ЗВЕЗД

I

Расстояние до звезды R , выраженное в парсеках, обратно параллаксу звезды π , выраженному в секундах дуги, т. е. равно $1/\pi$. Путь, проходимый лучом света в течение года, называется световым годом. 1 парсек = $= 3,26$ световых года $= 206\,265$ а.е. $= 3,08 \times 10^{13}$ км.

Звездную величину M светила, которую оно имело бы, находясь от нас на расстоянии 10 парсеков, называют абсолютной величиной.

$$M = m + 5 - 5 \lg \pi$$

или

$$M = m + 5 - 5 \lg r,$$

где m — наблюдаемая (видимая) звездная величина светила, находящегося на расстоянии r парсеков и имеющего годичный параллакс π . Абсолютная величина Солнца равна $+4,96$, а видимая вне атмосферы $-26,78$. Зная абсолютные величины звезд, мы можем сравнивать друг с другом их истинный блеск.

Цвет звезд различен: звезда тем блее, чем ее температура выше. Вид спектра звезды также зависит от ее температуры. По виду спектра звезды относят к различным спектральным классам: O, B, A, F, G, K, M (в порядке покраснения цвета и понижения температуры).

Солнечная система как целое перемещается в пространстве по направлению к созвездиям Лиры и Геркулеса со скоростью $19,5$ км/сек; в той области неба, куда

мы несемся (*апекс*), звезды в общем как бы приближаются к нам и расступаются в стороны, а в противоположной части неба (*антиапекс*) звезды в общем как бы сближаются между собой и удаляются от нас. Координаты апекса движения солнечной системы: $\alpha = 18^h 0^m$, $\delta = +30^\circ$.

II

Собственным движением звезды μ называется видимое угловое перемещение звезды по небесной сфере за год, вызванное ее движением в пространстве относительно Солнца, т. е. μ — проекция на небесную сферу перемещения звезды в пространстве относительно Солнца за год.

Тангенциальная скорость звезды V_t (скорость, перпендикулярная к лучу зрения) выражается формулой

$$V_t = 4,74 \frac{\mu}{\pi} \text{ км/сек},$$

а полная скорость звезды в пространстве — формулой

$$V = \sqrt{V_t^2 + V_r^2},$$

где V_r есть лучевая скорость. Если скорость V образует угол θ с направлением от нас к звезде, то мы можем написать:

$$V_r = V \cos \theta \text{ и } V_t = V \sin \theta.$$

Некоторые группы звезд несутся в пространстве по параллельным путям, и нам тогда представляется, что направления их собственных движений на небесной сфере сходятся в точке или расходятся от точки, называемой радиантом.

Если мы обозначим угловое расстояние какой-либо звезды такой группы (движущегося скопления) от радианта через θ , ее собственное движение через μ , параллакс через π , лучевую скорость через V_r , а пространственную скорость через V , то мы сможем написать:

$$\pi = \frac{4,74\mu}{V \sin \theta} = \frac{4,74\mu}{V_r \operatorname{tg} \theta},$$

что позволяет определять параллаксы подобных групп по их движению.

Собственное движение звезды μ , образующее с направлением к северному полюсу мира угол φ (отсчитываемый против часовой стрелки), может быть разложено на два компонента: μ_α — по прямому восхождению и μ_δ — по склонению:

$$\mu^2 = \mu_\delta^2 + (15\mu_\alpha \cos \delta)^2,$$

$$\mu_\delta = \mu \cos \varphi,$$

$$15\mu_\alpha \cos \delta = \mu \sin \varphi,$$

где δ есть склонение звезды, μ_α выражено в секундах времени, а μ_δ — в секундах дуги.

Наблюдаемая лучевая скорость звезды V_r состоит из присущей ей самой скорости V_r (проекция пекулярной скорости на луч зрения) и скорости, вызванной движением Солнца относительно совокупности звезд со скоростью V_0 :

$$V'_r = V_r + V_0 \cos \lambda,$$

где λ — угловое расстояние звезды от апекса.

На собственном движении μ звезды движение Солнца отражается так. Разложим его на два компонента: v — по направлению к анти-апексу (рис. 37) и τ — перпендикулярный к v :

$$\mu^2 = \tau^2 + v^2.$$

На τ движение Солнца не влияет. Если v' будет пекулярное движение звезды по указанному направлению, а v — наблюдаемое, то мы сможем написать

$$v = v' + \frac{\pi V_0 \sin \lambda}{4,74}.$$

Отсюда для групп звезд с некоторыми общими признаками средний параллакс $\bar{\pi}$ можно определить, зная v и τ , по следующим формулам:

$$\bar{\pi} = + \frac{4,74 \overline{v \sin \lambda}}{V_0 \sin^2 \lambda}, \quad \bar{\pi} = \frac{4,74 \bar{\tau}}{\bar{V}'_r},$$

где черта показывает, что соответствующая величина берется как среднее для данной группы звезд.

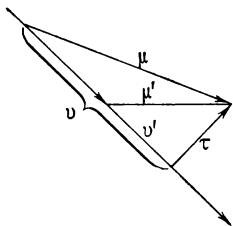


Рис. 37. Компоненты собственного движения.

Компоненты v и τ , а также угловое расстояние звезды от апекса вычисляются по следующим формулам:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} N &= \frac{\operatorname{tg} D}{\cos(a - A)}; \quad \operatorname{tg} \psi = \frac{\cos N \operatorname{tg}(a - A)}{\sin(\delta - N)}; \\ \operatorname{tg} \lambda &= \frac{\operatorname{tg}(\delta - N)}{\cos \psi}; \quad v = \mu \cos(\varphi - \psi); \quad \tau = \mu \sin(\varphi - \psi), \end{aligned}$$

где N — вспомогательный угол, определяемый первой формулой ($0^\circ < N < 180^\circ$), а ψ — позиционный угол параллактического смещения звезды.

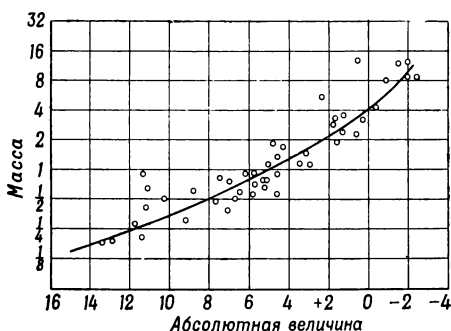


Рис. 38. Кривая зависимости «масса — абсолютная величина звезд». По вертикали в логарифмической шкале отложены массы звезд в долях массы Солнца.

Одним из способов определения расстояния до отдельных звезд является способ спектральных параллаксов. Он состоит в том, что по некоторым особенностям в спектре можно определить абсолютную величину M звезды, видимая величина которой m измеряется непосредственно. Сравнение M и m дает параллакс звезды. Обнаружена зависимость между массами звезд и их абсолютными величинами. Чем большей светимостью (т. е. силой света по сравнению с Солнцем) обладает звезда, тем больше и ее масса. Наблюдаемая зависимость или кривая «масса — светимость» (или кривая «масса — абсолютная величина») представлена на рисунке 38.

Диаметры самых больших звезд могут быть измерены при помощи особого прибора — интерферометра. Радиусы звезд в долях радиуса Солнца могут быть вычислены теоретически по формуле

$$\lg R = 5900 T^{-1} - 0,20M - 0,02,$$

где M — абсолютная величина звезды и T — ее абсолютная температура. Угловой видимый диаметр звезды в секундах дуги находится по формуле

$$\lg d = \lg \pi + \lg R - 2,030.$$

Формулы эти выведены на основании того, что звезды — раскаленные шары, у которых яркость единицы поверхности зависит от их температуры T . Излучение единицы поверхности, выражаемое в эргах в секунду, определяется законом Стефана — Больцмана

$$E = \sigma T^4.$$

Если E выражено в калориях на квадратный сантиметр в минуту, а T — в тысячах градусов абсолютной шкалы, то $\sigma = 82$. Эта величина, умноженная на величину поверхности звезды, определяет полную энергию, излучаемую звездой и называемую болометрической светимостью. Глаз воспринимает не всю энергию, а только часть световой энергии (от красных лучей до синих), и потому блеск звезды для глаза (визуальный блеск) зависит от T более сложным образом. Фотографическая пластинка воспринимает цвета спектра иначе, чем глаз (она чувствительнее к фиолетовым лучам), и потому, если белые звезды считать одинаково яркими для пластинки и для глаза, то красные звезды на фотографии выходят менее яркими, чем они представляются глазу. Разность звездных величин, определенных фотографически и визуально для одной и той же звезды, называется ее показателем цвета (I). Наблюдаемая зависимость показателя цвета звезды от ее спектрального класса приведена в таблице XIV в конце книги.

ПЕРВЫЙ КОНЦЕНТР

992. Сколько времени понадобилось бы воображаемому поезду, идущему без остановок со скоростью 100 км/час, чтобы добраться до ближайшей звезды — α Центавра, параллакс которой равен $0'',76$?

993. Сколько времени потребовалось бы лететь в ракетном корабле для межпланетных путешествий, движущемся со скоростью в 1000 км/сек, чтобы долететь до звезды Поллукс, параллакс которой равен $0'',10$?

994. Параллакс звезды 61 Лебеда равен $0'',37$. Чему равно расстояние до нее в световых годах?

995. Параллакс Сириуса равен $0'',37$, а параллакс Спика равен $0'',02$. Выразить расстояния до этих звезд в парсеках, в световых годах, в астрономических единицах и в километрах.

996. Параллакс Альтаира равен $0'',20$, а параллакс Веги равен $0'',12$. Выразить расстояния до этих звезд в парсеках, в световых годах, в астрономических единицах и в километрах.

997. Параллакс звезды равен $0'',312$; возможная неточность (вероятная ошибка) его измерения составляет $\pm 0'',006$. Что можно сказать о расстоянии звезды?

998. Вероятная ошибка параллакса Ригеля ($0'',006$) составляет $\pm 0'',006$. Что можно сказать о расстоянии звезды?

999. Видимая звездная величина Сириуса равна $-1,58$, а его спутника $8,44$. Во сколько раз истинный блеск Сириуса больше истинного блеска его спутника? Принять во внимание, что расстояние между этими звездами ничтожно мало в сравнении с расстоянием от Земли до Сириуса.

1000. Вычислить абсолютную звездную величину Сириуса, зная, что его параллакс равен $0'',371$, а видимая звездная величина равна $-1,58$.

1001. Определить абсолютную величину Антареса, зная, что его параллакс равен $0'',009$, а видимая величина равна $+1,22$.

1002. Во сколько раз слабее Солнца звезда Ближайшая Центавра (*Proxima Centauri*), для которой $\pi = 0'',76$; $m = 10,5$.

1003. Какое светило — Солнце или β Золотой Рыбы (абсолютная величина которой равна $-9,4$) — обладает большей светимостью и во сколько раз?

1004. Вычислить, во сколько раз Ригель ярче Солнца, зная, что его параллакс равен $0'',0069$, а видимая величина $0,34$.

1005. Определить абсолютные величины компонентов звезды Крюгер 60, зная, что их видимые величины равны $9,6$ и $11,4$, а параллакс равен $0'',257$.

1006. Выразить светимость компонентов двойной звезды Крюгер 60 по сравнению с Солнцем, зная, что их абсолютные величины равны $11,6$ и $13,4$ а абсолютная величина Солнца равна $4,85$.

1007. Звездная величина Веги равна $+0,1$. Какова была бы ее звездная величина, если бы Вега удалилась от

нас на расстояние в 1000 раз дальше? Была ли бы она тогда видна простому глазу?

1008. Сколько км за год пролетит солнечная система по направлению к апексу ее движения при скорости в 19,5 км/сек?

1009. В какой части неба, благодаря движению солнечной системы в пространстве, видимые угловые расстояния между звездами непрерывно увеличиваются и в какой они непрерывно уменьшаются? (ВВ)

ВТОРОЙ КОНЦЕНТР

1010. На рисунке XV воспроизведены фотографии спектров различных звезд. Определить их спектральный класс, пользуясь даваемыми в курсах астрономии таблицами типичных звездных спектров. Верхние шесть спектров сняты щелевым спектрографом, а нижние шесть — призмочной камерой. (ВВ)

1011. Доказать, что изменение видимой звездной величины звезды при изменении ее расстояния от Солнца меняется обратно пропорционально ее расстоянию. (Паренаго.)

1012. Звезда приближается к солнечной системе со скоростью V км/сек. Через сколько лет (y) ее видимый блеск увеличится в n раз, если расстояние до звезды равно a световых лет или R км? (ВВ)

Примечания: Величину, на которую при этом уменьшится расстояние, обозначить через x . Скорость света обозначить через c .

1013. По формуле, данной в ответе к предыдущей задаче, определить, через сколько лет видимый блеск звезды Альтаир увеличится на едва заметную для глаза величину (0,1 зв. величины), если расстояние до него равно 15,7 светового года и если он приближается к нам со скоростью около 26 км/сек. (ВВ)

1014. Расстояние до Сириуса составляет 2,70 парсека, но вследствие движения Сириуса уменьшается на 8 км ежесекундно. Рассчитать, через сколько лет видимый блеск Сириуса возрастет вдвое. (ВВ)

1015. Если звезда находится на эклиптике, то какова была разность между наблюдаемыми ее лучевыми скоростями 9 сентября 1949 г. и 7 марта следующего года. (ВВ)

1016. Вывести формулу, дающую поправку к наблюдаемой лучевой скорости звезды за влияние годичного

движения Земли для того случая, когда звезда находится в полюсе эклиптики. (ВВ)

1017. Вывести формулу, дающую поправку за годичное движение Земли к наблюдаемой лучевой скорости звезды, лежащей в плоскости эклиптики. *Указание:* Звезду считать находящейся в точке весеннего равноденствия, а орбиту Земли считать круговой, т. е. ее скорость V_0 считать постоянной (29,8 км/сек). (ВВ)

1018. Можно ли, наблюдая в течение очень долгих промежутков времени, чисто геометрическим методом определить лучевые скорости звезд с измеримым параллаксом?

1019. Звезда с координатами $\alpha = 11^h 36^m, 8$, $\delta = +27^\circ 20'$ имеет компоненты собственного движения $\mu_\alpha = 0^s, 0465$, $\mu_\delta = -0^s, 795$. Определить полное собственное движение μ и его позиционный угол ψ . (ВВ)

1020. Звезда с координатами $\alpha = 22^h 28^m, 0$, $\delta = +8^\circ 52'$ имеет компоненты собственного движения $\mu_\alpha = +0^s, 036$, $\mu_\delta = +0^s, 152$. Определить полное собственное движение μ и его позиционный угол ψ . (ВВ)

1021. Звезда имеет собственное движение $\mu = 1'', 24$ по направлению, позиционный угол которого $\psi = 165^\circ$. Определить компонент собственного движения μ_δ . (ВВ)

1022. Звезда ($\alpha = 15^h 58^m, 5$, $\gamma = 20^\circ 56'$) имеет собственное движение $\mu = 1'', 59$ по направлению, позиционный угол которого $\psi = 218^\circ$. Определить компоненты собственного движения по обеим координатам μ_δ и μ_α . (ВВ)

1023. «Летающая звезда Барнарда» имеет годичное собственное движение $10'', 25$ и параллакс $0'', 546$. Какова ее тангенциальная скорость?

1024. Чему равна тангенциальная скорость Сириуса, если его параллакс равен $0'', 371$, а годичное собственное движение $1'', 315$?

1025. Лучевая скорость Веги равна -14 км/сек, собственное движение $0'', 348$ в год, а параллакс $0'', 124$. Определить полную пространственную скорость звезды относительно Солнца. (ВВ)

1026. Лучевая скорость Альдебарана равна $+54$ км/сек, а тангенциальная скорость 18 км/сек. Найти полную пространственную скорость его относительно Солнца. (ВВ)

1027. Координаты Сириуса таковы: $\alpha = 6^h 41^m$, $\delta = -16^\circ 35'$. Его собственное движение по прямому восхождению равно $-0^s, 0374$, а по склонению $-1'', 209$ в

год, лучевая скорость равна $-7,5$ км/сек, а параллакс $0'',38$. Определить полную пространственную скорость Сириуса относительно Солнца и угол, образуемый ею с лучом зрения.

1028. Лучевая скорость Арктура равна -22 км/сек, а тангенциальная скорость равна 23 км/сек. Найти угол, образованный направлением движения звезды с лучом зрения. (ВВ)

1029. Лучевая скорость звезды Бетельгейзе равна $+21$ км/сек, собственное движение равно $0'',032$ в год, а параллакс равен $0'',012$. Определить полную пространственную скорость относительно Солнца и угол, образованный направлением движения звезды в пространстве с лучом зрения. (ВВ)

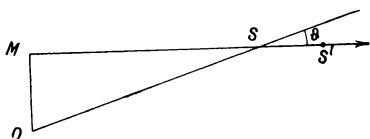


Рис. 39.

1030. Полная пространственная скорость β Южного Креста равна 21 км/сек, а лучевая $+13$ км/сек. Определить тангенциальную скорость. (ВВ)

1031. Полная пространственная скорость звезды Канопус 23 км/сек образует угол в 37° с лучом зрения. Определить лучевую и тангенциальную составляющие скорости. (ВВ)

1032. Направление движения звезды Капеллы образует угол в $48^\circ,2$ с лучом зрения; полная пространственная скорость движения ее равна 45 км/сек. Определить годовое собственное движение звезды, если ее параллакс $0'',063$. (ВВ)

1033. Даны пространственная скорость звезды S , образующая с лучом зрения угол ϕ (рис. 39), лучевая V_r и тангенциальная V_t скорости звезды, а также ее параллакс π , собственное движение μ и видимая величина m . Вывести формулы, определяющие момент t , когда звезда будет (или была) на кратчайшем расстоянии от Солнца O в точке M . Каковы будут тогда значения π , μ , m , V_r и V_t (для этого случая будем отмечать их штрихом)?

1034. По формулам ответа к предыдущей задаче определить год, когда Солнце и α Центавра сблизятся максимально. Каковы в этот момент будут ее параллакс, собственное движение и визуальная звездная величина, если в настоящее время $V_r = -22$ км/сек, $V_t = 23$ км/сек, $m = 0,06$, $\mu = 3'',68$, $\pi = 0'',758$.

1035. Определить дату наибольшего сближения «летающей звезды Барнарда» с Солнцем, если для нее современные данные таковы: $m = 9,57$, $\mu = 10''$, 25 , $\pi = 0''$, 546 , $V_r = 117$ км/сек, $V_t = 90$ км/сек.

1036. Каковы будут параллакс и собственное движение «летающей звезды Барнарда» (см. задачу 1035) через 2000 лет?

1037. Определить апекс движения солнечной системы и ее скорость по следующим данным. По каталогу подсчитаны средние алгебраические лучевые скорости звезд внутри квадратов на небесной сфере со стороной 40° , имеющих центры в точках, координаты которых даны ниже:

α	0ч	12ч	6ч	18ч	—	—
δ	0°	0°	0°	0°	$+90^\circ$	-90°
Число звезд	32	27	33	26	24	43
Средняя лучевая скорость	+4,4	+0,8	+23,7	-15,1	-8,2	+9,3

1038. Можно ли в принципе путем систематических измерений лучевых скоростей многочисленных звезд, производимых в течение продолжительного срока, установить криволинейность движения солнечной системы в пространстве? (ВВ)

1039. Определить склонение апекса движения солнечной системы, пользуясь нижеследующим примером и данными. По каталогу звезд Босса было подсчитано число звезд вблизи некоторых значений α (в каждом случае бралось 200 звезд), имеющих собственное движение по прямому восхождению положительное и отрицательное и лежащих вблизи прямых восхождений 0^h , 3^h , 6^h и т. д. Таким образом найдено:

α	0ч	3ч	6ч	9ч	12ч	15ч	18ч	21ч
Положительное	132	152	107	39	46	47	101	143
Отрицательное	68	48	93	161	154	153	99	57

Начертим круг с размеченными вокруг него часами прямого восхождения и у соответствующих часов прямого восхождения (0^h , 3^h и т. д.) отметим стрелками соответствующей длины величины и направление предпочтительного движения звезд в этой области. Интерполируя по этим данным, видим, что число положительных и отрицатель-

ных движений равно нулю в направлениях $6^{\text{ч}}20^{\text{м}}$ и $18^{\text{ч}}0^{\text{м}}$ прямого восхождения. В среднем прямое восхождение апекса $18^{\text{ч}}10^{\text{м}}$.

Найти аналогичным образом склонение апекса, зная, что вдоль полос между $17^{\text{ч}}30^{\text{м}}-18^{\text{ч}}30^{\text{м}}$ и $5^{\text{ч}}30^{\text{м}}-6^{\text{ч}}30^{\text{м}}$ прямого восхождения числа звезд с положительным и отрицательным собственным движением таковы:

		от 90° до 60°	от 60° до 30°	от 30° до 0°	от 0° до -30°	от -30° до -60°	от -60° до -90°
$\alpha = 6^{\text{ч}}$	Положительные	3	9	22	29	31	16
	Отрицательные	10	35	72	40	32	3
$\alpha = 18^{\text{ч}}$	Положительные	10	25	22	8	6	4
	Отрицательные	7	13	38	59	46	9

1040. Допустим, что солнечная система движется к созвездию Лиры среди звезд, неподвижных друг относительно друга и находящихся на одинаковом расстоянии от Солнца. По какому закону должны тогда изменяться величины наблюдаемых лучевых скоростей и собственных движений звезд в функции их видимого углового расстояния λ от апекса? (ВВ)

1041. Можно ли было бы в принципе определить направление движения солнечной системы в пространстве на основании одних лишь фотометрических наблюдений звезд? (ВВ)

1042. Наша солнечная система приближается к Веге ($\pi = 0'',12$) каждую секунду на 14 км . Через сколько лет видимый блеск Веги увеличится на $0^{\text{м}},1$?

1043. Принимая координаты апекса Солнца равными $\alpha = 18^{\text{ч}}0^{\text{м}}$, $\delta = +30^{\circ}$, а скорость V_0 равной $19,5 \text{ км/сек}$, вычислить по формуле $V_r' = V_r + V_0 \cos \lambda$ лучевую пекулярную скорость звезды R Щита, для которой скорость, неисправленная за движение Солнца, равна $+38,3 \text{ км/сек}$, а координаты таковы: $\alpha = 280^{\circ}1/2$, $\delta = -6^{\circ}$, λ в приведенной формуле означает угловое расстояние звезды от апекса. (ВВ)

1044. Принимая для апекса Солнца «стандартное» значение (см. предыдущую задачу), вычислить пекулярную лучевую скорость звезды U Единорога, для которой неисправленная скорость относительно Солнца равна $+34,6 \text{ км/сек}$ и координаты таковы: $\alpha = 111^{\circ}1/2$, $\delta = -10^{\circ}$. (ВВ)

1045. Разложить на v - и t -компоненты собственное движение AG Возничего ($\alpha = 6^h 20^m$, 1 , $\delta = 47^\circ 5'$), $\mu_\alpha = +0^s,0076$, $\mu_\delta = -0'' ,054$. Указание: Элементы движения Солнца принять обычные. (ВВ)

1046. Разложить на v - и t -компоненты собственное движение звезды R Щита ($\alpha = 18^h 42^m, 1$, $\delta = -5^\circ 49'$), имеющей собственное движение $\mu_\alpha = -0^s,0039$, $\mu_\delta = -0'' ,030$. (ВВ)

1047. Звезда имеет параллакс $0'' ,0015$ и компоненты собственного движения $v = 0'' ,015$, $\tau = 0' ,064$. Она отстоит от апекса Солнца на $\lambda = 125^\circ$. Вычислить компоненты ее пекулярного собственного движения v' и τ' . (ВВ)

1048. Годичное собственное движение звезды, имеющей координаты $\alpha = 3^h 0^m$, $\delta = +10^\circ$, равно $0'' ,1$. Допуская, что это собственное движение полностью является параллактическим, т. е. перспективным, вызванным движением солнечной системы, определить параллакс звезды, приняв, что Солнце движется к точке с координатами $\alpha = 18^h 0^m$, $\delta = +30^\circ$ со скоростью $19,5$ км/сек.

1049. Определить среднюю абсолютную величину переменных звезд типа RV Тельца, если для восьми из них $\tau = 0'' ,0165$, $\bar{V} = 33,4$ км/сек, средняя видимая звездная величина равна $8^m,5$. (ВВ)

1050. Для группы звезд с одинаковыми физическими признаками найдено среднее значение t -компонента их пекулярных собственных движений, равное $0'' ,0150$, а средняя пекулярная лучевая скорость $V_r' = 10$ км/сек. Определить средний параллакс этих звезд. (ВВ)

1051. Для 11 переменных звезд типа RV Тельца П. П. Паренаго нашел $v \sin \lambda = -0'' ,0022$, $\sin^2 \lambda = 0,366$, средняя видимая звездная величина равна $8^m,7$. (Позднее эти данные были им уточнены.) Принимая скорость солнечной системы равной $19,5$ км/сек, определить средний параллакс этой группы звезд и их среднюю абсолютную звездную величину. (ВВ)

1052. Для 19 горячих звезд спектральных классов O8—O9 нашли из собственных движений компоненты $\bar{\tau} = 0'' ,0054$; $\frac{v \sin \lambda}{\sin^2 \lambda} = 0'' ,082$. Средняя видимая величина этих 19 звезд равна $6^m,04$. Найти их средний параллакс и среднюю абсолютную величину. (ВВ)

1053. Угловое расстояние звезды от радианта движущегося звездного скопления $\theta = 30^\circ$, ее лучевая скорость

равна $+48$ км/сек, а ее собственное движение равно $0'',18$. Определить параллакс этого звездного скопления.

1054. Определить пространственную скорость и параллакс движущегося скопления Гиад по следующим данным, известным для одной из звезд этой группы:

$$\mu = 0'',115, V_r = +38,6 \text{ км/сек}, \theta = 29^\circ,1.$$

1055. Каково в парсеках расстояние до Полярной звезды, если по спектру ее абсолютная величина найдена равной $-2^m,4$, а ее видимая величина $+2^m,1$. Найти то же для новой звезды в Геркулесе, если ее абсолютная величина, определенная спектрально, $-7^m,5$, а видимая $+1^m,2$ (в наибольшем ее блеске).

1056. Разность между звездной величиной объекта, определенной из фотографических наблюдений m_p и из наблюдений глазом (визуальных) m_v , называется показателем цвета I . Чем звезда краснее, тем I больше. Для голубоватых звезд показатель цвета отрицателен и связан с абсолютной температурой T звезды соотношением

$$I = m_p - m_v = \frac{7200}{T} - 0,64,$$

в котором m_v — визуальная, а m_p — видимая фотографическая величина звезды. При каких температурах показатель цвета меняется быстрее? (ВВ)

1057. Показатель цвета звезд может быть выражен формулой

$$I = M_p - M_v = \frac{7200}{T} - 0,64,$$

где M_v — визуальная, M_p — фотографическая абсолютная величина звезды, а T — ее температура. Определить верхний предел отрицательных значений показателя цвета.

1058. Ниже приведены фотографические и визуальные величины ярких звезд. Расположите их в порядке цвета — белые, желтые, оранжевые, красные. (ВВ)

Звезды	Величины	
	фотографические	визуальные
Спика	0,94	1,21
Антарес	2,95	1,22
Альтаир	1,05	0,89
Капелла	0,88	0,21
Арктур	1,36	0,24
Ригель	0,30	0,34
α Центавра	0,63	0,06

1059. Пользуясь таблицей показателей цвета звезд (табл. XIV), определить фотографические величины компонентов двойной звезды γ Андромеды, если их спектральные классы K0 и B9, а визуальные величины соответственно $2^m,28$ и $5^m,08$.

1060. Сравнить друг с другом фотографию и карту неба (рис. XVI и XVII) в области созвездий Центавра, Южного Креста и Мухи и найти желтые и красные звезды (из числа отмеченных буквами), расположив их в порядке усиления красноватого оттенка (в порядке возрастания показателя цвета). (BB)

1061. Каково должно быть раздвижение D_0 зеркал звездного интерферометра, чтобы при помощи него можно было измерить угловой диаметр β новой звезды, для которой в момент максимума блеска примем $m_v = 1,0$, $\pi = 0'',002$, $T = 10\,000^\circ$. Эффективную длину волны λ , испускаемую новой звездой, принять равной $5000 \text{ \AA}$. Формула для вычисления углового диаметра в секундах дуги:

$$\beta'' = \frac{1,22\lambda}{D_0} \cdot 206\,265.$$

1062. Пользуясь формулой $d = 11'',6 : D$, характеризующей разрешающую силу телескопа, где D — диаметр его объектива в сантиметрах, определить, какой нужен телескоп, чтобы в него непосредственно можно было увидеть истинный диск гигантской звезды Бетельгейзе, угловой диаметр которой $0'',04$. (BB)

1063. Сравнить диаметры звезд α Скорпиона и «звезды Барнарда», зная, что их абсолютные величины равны $-4,0$ и $+13,4$, а температуры (а следовательно, и поверхностные яркости) одинаковы. (BB)

1064. Определить радиус β Центавра, если ее температура $T = 21\,000^\circ$, а абсолютная визуальная звездная величина $M_v = -3,8$. (BB)

1065. Определить радиус Антареса, зная, что его температура $T = 3100^\circ$, а абсолютная звездная величина $M_v = -4,0$. (BB)

1066. Определить радиус спутника Сириуса, зная, что у него температура $T = 7500^\circ$, а абсолютная звездная величина $M_v = 11,2$. (BB)

1067. Определить радиус Альдебарана и вычислить его видимый угловой диаметр, зная, что у Альдебарана параллакс $\pi = 0'',057$, $T = 3300^\circ$, а $M_v = -0,1$. (BB)

1068. Какого диаметра должен был бы быть спутник Сириуса, если по абсолютной величине он на 10 величин слабее, чем Сириус, расстояние между этими звездами составляет 20,4 а.е. и если бы он светился отраженным от Сириуса светом, как планета. Абсолютная величина Сириуса +1,3.

Указание: Отражательную способность спутника принять такую же, как у Юпитера, отстоящего от Солнца на 5,2 а. е. и имеющего звездную величину в противостоянии — 2,2; абсолютная величина Солнца равна +5,0, а видимая — 26,8. (ВВ)

1069. Температуру звезды можно определить, зная ее показатель цвета, по формуле

$$T = \frac{7200}{I + 0,64}.$$

Определить среднюю температуру звезд спектральных классов В0, А0 и dG0, зная, что их средние показатели цвета соответственно равны —0,33, 0,00, 057. (ВВ)

1070. Определить по показателю цвета I (приводимому в скобках) температуры следующих звезд: δ Эридана (1,12), ϵ Близнецов (0,92), Проциона (0,47) и τ Скорпиона (—0,33). (ВВ)

1071. Тепловым индексом называется разность звездных величин объекта, определенных визуально (m_v) и с помощью радиометра или термоэлемента (m_r). Эта величина связана с температурой звезды соотношением

$$m_v - m_r = 10 \lg T + \frac{29\,500}{T} - 42,1.$$

В каких пределах меняется температура долгопериодических переменных звезд, если в среднем тепловой индекс для них равен +4,3 в период наибольшего блеска и +7,8 в период наименьшего блеска? (ВВ)

1072. Вычислить среднюю температуру звезд гигантов спектрального класса К0, зная, что их тепловой индекс в среднем равен +1,2. (ВВ)

1073. Звезда α Ориона посылает на Землю количество тепла, характеризуемое величиной $7,7 \cdot 10^{-11}$ кал/см² в минуту. Сколько тепла от этой звезды получает Земля за год, если его собирать зеркалом телескопа, имеющего диаметр 2,5 м? (ВВ)

1074. Определить, какое количество льда в течение года способно растопить тепло, посылаемое на Землю

звездой Сириус и собираемое зеркалом с поперечником в 1 м, если за минуту на 1 см² земной поверхности, перпендикулярный к лучам этой звезды, падает количество энергии 5,8 · 10⁻¹¹ калорий? (ВВ)

1075. Звезда α Волопаса на 1 см² поверхности Земли, перпендикулярный к ее лучам, посылает в минуту 64 · 10⁻¹² калорий. Параллакс звезды 0",08, а радиус в 26 раз больше солнечного. Определить температуру α Волопаса. (ВВ)

1076. Звезда α Ориона посылает на Землю количество энергии, характеризующееся величиной 7,7 · 10⁻¹¹ кал/см² в минуту. Вычислить по этим данным температуру этой звезды, зная, что ее параллакс равен 0",011, а угловой диаметр, измеренный интерферометром, равен 0",047. (ВВ)

1077. Вычислить температуру Арктура, зная, что в течение минуты на 1 см² поверхности Земли, перпендикулярный к его лучам, он посылает 6,4 · 10⁻¹¹ калорий, и что его параллакс равен 0",080, а угловой диаметр, измеренный интерферометром, равен 0",020. (ВВ)

1078. Вычислить температуру Альдебарана, зная, что его видимая визуальная величина равна 1,1, а угловой диаметр равен 0",020. (ВВ)

1079. Какова по кривой «масса — абсолютная величина» (рис. 38) масса Полярной звезды, если ее абсолютная величина равна —2,4. (ВВ)

1080. По кривой «масса — абсолютная величина» определить массу звезды 70 Змееносца А, зная, что ее параллакс равен 0",19, а видимая звездная величина равна 4,3. (ВВ)

1081. Определить среднюю плотность звезды Капеллы, воспользовавшись зависимостью «масса — абсолютная величина» и зная, что абсолютная величина Капеллы равна —0,3 (для Солнца она +4,9), а температура равна 6000°. (ВВ)

1082. Вычислить в граммах на кубический сантиметр среднюю плотность звезды 40 Эридаана В по следующим данным: масса звезды составляет 0,44 массы Солнца, $T = 11\,000^\circ$, $M_v = 11,2$. (ВВ)

1083. Определить среднюю плотность звезды белого карлика, являющегося спутником другой звезды, по следующим данным. Спектры главной звезды и спутника одинаковы. Средняя плотность главной звезды 0,2 г/см³. Разность видимых звездных величин главной звезды и спутника равна 10, а отношение их масс 2 : 1. (ВВ)

1084. Наиболее горячие и массивные звезды (спектрального класса В) имеют в среднем массу около 20×10^{33} г и скорость около $15 \cdot 10^5$ см/сек. Звезды типа Солнца имеют массы около $2 \cdot 10^{33}$ г и скорости около $64 \cdot 10^5$ см/сек. Самые холодные и маленькие звезды (спектрального класса М) имеют массы около $1,2 \times 10^{33}$ г и скорости около $78 \cdot 10^5$ см/сек.

Имея в виду столь большие различия масс и скоростей звезд, сравнить их кинетические энергии. (ВВ)

XXV. ДВОЙНЫЕ ЗВЕЗДЫ

II

Двойные звезды бывают *визуальные*, когда их двойственность обнаруживается непосредственно в телескоп, и *спектрально-двойные*, когда их двойственность обнаруживается спектрально по периодическому раздвоению спектральных линий. Визуально-двойные звезды разделяются на *оптические*, у которых кажущаяся близость звезд вызвана действием перспективы, и *физически-двойные*, у которых звезды реально близки одна к другой и обращаются каждая по своей орбите относительно общего центра тяжести по законам тяготения, и, в частности, по законам Кеплера. Обычно наблюдают орбиту спутника относительно главной звезды. Как правило, она видна в проекции на небесную сферу, так как образует с лучом зрения угол, отличающийся от прямого на величину наклона орбиты i .

Положение спутника относительно главной звезды характеризуется измеренным угловым расстоянием ρ и позиционным углом его θ , т. е. углом, который это направление образует, с направлением к северному полюсу мира. Этот угол отсчитывается против часовой стрелки. Главная звезда находится обычно вне фокуса видимого эллипса (следствие проекции), но находится, конечно, в фокусе истинного эллипса орбиты. В проекции на небесную сферу полуось истинной орбиты проходит через центр видимого эллипса и через главную звезду. Если α — большая полуось орбиты, выраженная в секундах дуги, A — в километрах, а π — параллакс, то

$$A = \frac{a}{\pi}.$$

В силу этого сумму масс двойной звезды $m_1 + m_2$, согласно третьему закону Кеплера, можно выразить формулой

$$m_1 + m_2 = \frac{A^3}{P^2} = \frac{a^3}{\pi^3 P^2},$$

в которой m_1 и m_2 выражены в массах Солнца, а P — период обращения в годах.

Отсюда получается возможность определить так называемый динамический параллакс двойной звезды по формуле

$$\pi = \frac{a}{\sqrt[3]{P^2(m_1 + m_2)}};$$

если $(m_1 + m_2)$ положить равным удвоенной массе Солнца, то получатся параллаксы, более или менее близкие к истине. Более точный результат дает способ последовательных приближений, когда, найдя параллакс, мы определяем абсолютную величину компонентов, и по кривой «масса — абсолютная величина» определяем массу каждого компонента в отдельности, после чего сумму масс вставляем снова в формулу. Повторив этот прием несколько раз, мы получаем параллакс более точно.

Если наблюденное смещение линий в спектре спектрально-двойной звезды нанести на график в функции времени, то получается кривая линия; если провести прямую, параллельную оси абсцисс и пересекающую кривую скоростей так, что площади кривой, расположенные над ней и под ней, одинаковы, то расстояние этой прямой от оси абсцисс представляет скорость центра тяжести системы. Для спектрально-двойных звезд угол наклона i остается неизвестным. Величина ω — расстояние периастра от узла — определяется по кривой лучевых скоростей.

Частным случаем спектрально-двойных звезд являются затменные двойные звезды, или звезды типа Алголя, у которых плоскости орбит проходят через луч зрения, и поэтому одна звезда периодически затмевает другую.

ВТОРОЙ КОНЦЕНТР

1085. Каково наибольшее расстояние между компонентами двойной звезды, при котором она может быть видима как один диск в большой рефрактор, имеющий объектив диаметром в 76 см (30 дюймов)?

1086. Какова видимая звездная величина двойной звезды, компоненты которой имеют блеск $1^m,0$ и $2^m,0$?

1087. Двойная звезда Кастор (α Близнецов) состоит из двух звезд 2,0 и 2,8 зв. величины. Каков общий блеск звезды в звездных величинах?

1088. Доказать, что если двойная звезда оптическая (т. е. спутник физически не связан с главной звездой, а находится лишь почти на одном луче зрения и относительное равномерное видимое движение их обусловлено собственными движениями обеих звезд и происходит по прямой линии), то соблюдаются соотношения

$$\rho^2 = a^2 + (t - T)^2 m^2 \quad \text{и} \quad \operatorname{tg}(\theta - \theta_0) = \frac{m}{a}(t - T),$$

где a — перпендикуляр, опущенный из звезды, считаемой неподвижной, на линию движения спутника, θ_0 — позиционный угол этого перпендикуляра, t — время, которому соответствует расстояние между звездами ρ под позиционным углом θ , T — момент, когда спутник находится у основания этого перпендикуляра, m — годовое движение спутника. (Если наблюдения согласуются с этими формулами, то пара — оптическая.) (ВВ)

1089. Вычислить сумму масс двойной звезды Капеллы, если большая полуось их орбиты равна 0,85 а. е., а период обращения 0,285 года.

1090. Определить сумму масс двойной звезды Прокцион, если период обращения ее спутника вокруг главной звезды равен 39 годам, а большая полуось орбиты равна 13,0 а. е.

1091. Большая полуось орбиты двойной звезды α Центавра видна под углом $17'',65$. Во сколько раз это расстояние больше расстояния Земли от Солнца? *Указание:* Параллакс звезды равен $0'',75$. (ВВ)

1092. Вычислить массу двойной звезды α Центавра, у которой

$$\pi = 0'',75, \quad P = 79 \text{ лет}, \quad \alpha = 17'',6.$$

1093. Двойная звезда ϵ Гидры имеет период обращения 15,3 года, параллакс $0'',020$ и угловые размеры большой полуоси орбиты $0'',23$. Определить линейные размеры большой полуоси и сумму масс компонентов.

1094. Двойная звезда α Близнецов имеет параллакс $0'',076$, видимые угловые размеры большой полуоси орби-

ты $6'',06$ и период обращения 306 лет. Определить сумму масс компонентов.

1095. Параллакс двойной звезды κ Пегаса определен в $0'',026$ с вероятной ошибкой в $\pm 0'',005$. Во сколько раз изменится вычисленная сумма масс этой звезды, если ее параллакс принять бóльшим приведенного на величину его вероятной ошибки? Большая полуось орбиты равна $0'',29$. (ВВ)

1096. Положим, что видимое расстояние между двумя звездами должно быть по крайней мере $0'',2$, чтобы они могли быть видимы как две отдельные звезды в самые большие телескопы; предположим, что расстояние до двойной звезды равно 500 парсекам. Каково должно быть расстояние в астрономических единицах между составляющими для того, чтобы они могли быть видимы как отдельные звезды? Если масса каждой звезды равна массе Солнца, каков будет их период обращения? Если их размеры и поверхностные яркости такие же, как у Солнца, то какова будет в отдельности и суммарная их видимая звездная величина?

1097. Параллакс визуально-двойной звезды Кастор равен $0'',076$, собственное движение $0'',20$ в год, лучевая скорость системы $+3$ км/сек, видимая величина компонентов 2,0 и 2,8 зв. величины, большая полуось орбиты $6'',06$, период обращения 306 лет. Определить большую полуось орбиты в километрах, светимость компонентов по сравнению с Солнцем, относительную орбитальную скорость спутника в километрах в секунду, массы обеих звезд, отношение их радиусов (температура обеих звезд одинакова) и скорость системы в целом. (ВВ)

1098. Положим, что плотность составляющих двойной звезды равна солнечной и что две составляющие (принимаемые сферическими) находятся в соприкосновении; каков их период обращения, если масса каждой из них равняется $1/_{10}$ солнечной массы? Какова будет их относительная скорость в километрах в секунду? (ВВ)

1099. Определить динамический параллакс двойной звезды α Центавра, принимая сумму масс ее компонентов равной двум массам Солнца. Период обращения пары $78,8$ года, а большая полуось орбиты $17'',65$.

1100. Вычислить динамический параллакс двойной звезды β 7642, для которой $a = 2'',87$ и период $P = 317,5$ года. Тригонометрический параллакс $0'',088$. Чем объяснить получаемое различие параллаксов?

1101. Определить способом последовательных приближений, пользуясь кривой «масса — абсолютная величина» (рис. 38), динамический параллакс двойной звезды κ Пегаса по следующим данным: большая полуось $a = 0",29$, период $P = 11,35$ года, видимые звездные величины компонентов 4,8 и 5,5. (ВВ)

1102. Пользуясь кривой «масса — абсолютная величина» (рис. 38), определить методом последовательных приближений динамический параллакс двойной звезды ζ Геркулеса, пользуясь данными: $P = 34,5$ года, $a = 1",35$, видимые звездные величины 3,0 и 6,5. (ВВ)

1103. Цена одного оборота винта нитяного микрометра равна $8",14$. Подвижную нить, перпендикулярную к линии, соединяющей звезды, пришлось переместить в поле зрения окуляра на $0,34$ оборота винта для того, чтобы она от совпадения с неподвижной нитью (на которой удерживалась все время одна звезда) перешла в положение, при котором пересекла вторую звезду. Каково расстояние между компонентами двойной звезды? (ВВ)

1104. Чему равно угловое расстояние α между компонентами тесной двойной звезды, если при наблюдении ее звездным интерферометром интерференционные полосы пропали при раздвижении зеркал на $D_0 = 206$ см, $\alpha = 206 \cdot 265 \lambda : 2D_0$. Указание: Эффективную длину волны λ , испускаемую звездой, принять равной $5500 \text{ \AA}$. (ВВ)

1105. Расстояние ρ слабой звезды от яркой не превышает $1''$ и изменяется в зависимости от времени t по закону

$$\rho = 1",0 \sin \left(\frac{2\pi}{T} t + t_0 \right),$$

где T — период, а t_0 — момент начала отсчета времени. Что можно сказать об этих звездах? (ВВ)

1106. Приняв отношение масс двух компонентов визуально-двойной равным $4 : 3$, орбиту круговой, а ее наклон равным 60° , начертить видимые орбиты обоих компонентов и относительную орбиту с правильным соотношением относительных размеров.

1107. На рисунке 40 изображена видимая орбита спутника двойной звезды относительно главного компонента и положение круга склонения, проходящего через главную звезду. Определить графически позиционный угол проекции большой полуоси, орбиты на небесную сферу. (ВВ)

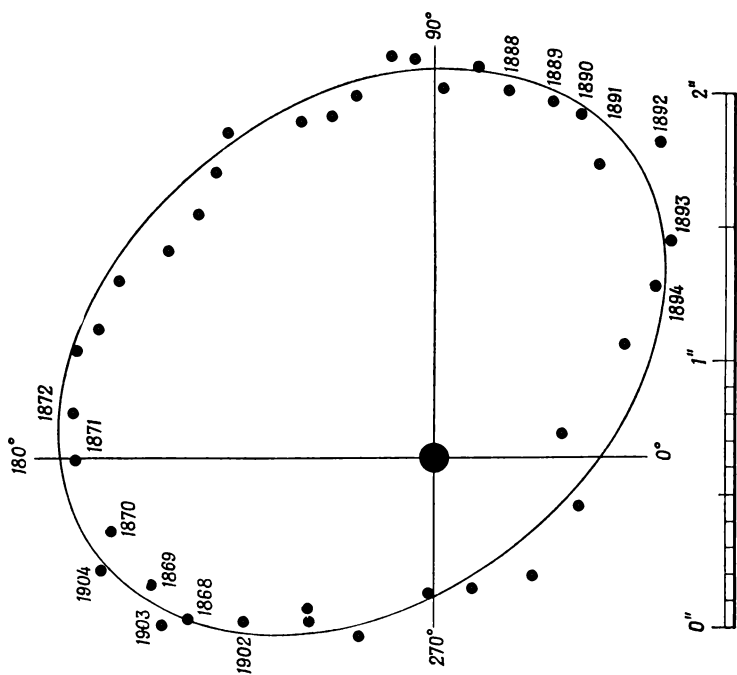


Рис. 40. Видимая орбита двойной звезды.

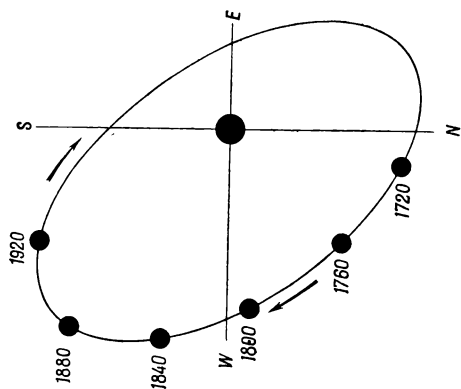


Рис. 41. Видимая орбита спутника ζ Геркулеса.

1108. На рисунке 41 изображена видимая орбита спутника двойной звезды относительно главного компонента. Путем измерения чертежа определить эксцентриситет истинной орбиты. (ВВ)

1109. На рисунке 41 нанесены в виде точек наблюдаемые в телескоп положения спутника относительно главной звезды в системе ζ Геркулеса в соответствующие годы (изображение перевернуто). Провести самостоятельно по этим наблюдениям на этом чертеже правильный эллипс, изображающий видимую орбиту (построить его по правилам черчения этой кривой), и, зная, что наклон орбиты

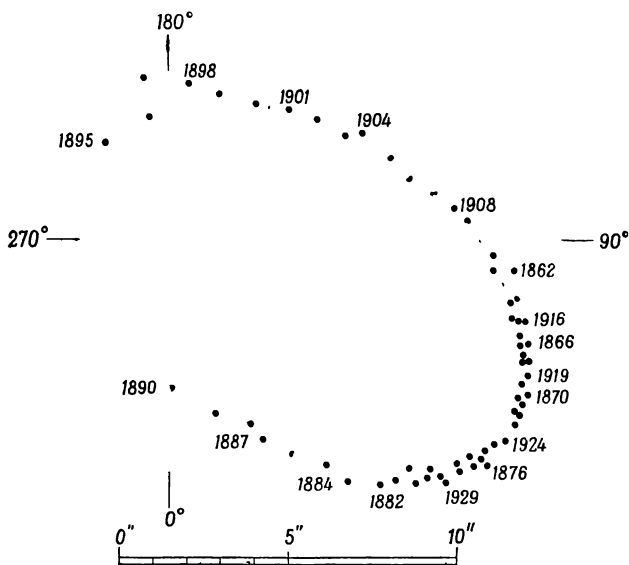


Рис. 42. Видимая орбита спутника Сириуса.

равен 48° , вычертить эллипс действительной орбиты спутника относительно главной звезды. Определить период обращения, эксцентриситет и большую полуось орбиты. Определить момент прохождения спутника через периастр и сумму масс системы (параллакс $0'',11$). Выполнить такое же упражнение для двойной звезды Сириус (рис. 42), у которой наклон орбиты $i = 43^\circ$ и параллакс $0'',37$. (ВВ)

1110. Построить видимую орбиту визуально-двойной звезды β Дельфина, оценить период ее обращения, большую полуось видимой орбиты и эксцентриситет по следую-

щим наблюдениям (наблюдения сделаны разными лицами в разные телескопы и не вполне точны):

t	θ	d	t	θ	d
1873,6	355°	0",7	1877,8	48°,8	0",32
1874,7	15,6	0,65	1878,6	53,7	0,24
1874,7	13,6	0,49	1878,7	59,2	—
1874,7	6,5	0,66	1880,7	133,6	0,26
1875,6	20,1	0,54	1881,5	149,2	0,26
1875,9	15,1	0,42	1882,6	167,5	0,26
1876,7	25,8	0,48	1883,6	182,5	0,23
1877,7	29,7	0,51			

(Иванов.)

1111. В спектре Мицара наибольшее расстояние между компонентами периодически раздваивающейся линии водорода H_γ (длина волны 4341 Å) составляет 0,5 Å. Какова относительная орбитальная скорость компонентов в проекции на луч зрения?

1112. Какова скорость центра тяжести спектрально-двойных систем β Козерога, ρ Парусов и α Возничего (рис. 43)?

1113. Для спектрально-двойных звезд между массами их компонентов m_1 и m_2 и большими полуосями орбит a_1 и a_2 относительно их общего центра тяжести существует соотношение

$$\frac{(a_1 + a_2) \sin^3 i}{P^2} = (m_1 + m_2) \sin^3 i,$$

где P — период обращения, а i — наклон орбиты. Доказать, что если $a \sin i$ выражать не в астрономических единицах, а в миллионах километров и P не в годах, а в сутках, то это выражение приводится к виду

$$(m_1 + m_2) \sin^3 i = \frac{(a_1 + a_2) \sin^3 i}{25,0 P^2}. \quad (\text{ВВ})$$

1114. Определить отношение масс компонентов спектрально-двойной звезды β Скорпиона, если полуамплитуды лучевых скоростей главной звезды и спутника соответственно равны $k_1 = 152$ и $k_2 = 126$ км/сек. (ВВ)

1115. Определить приближенное значение ω , т. е. расстояния периастра от узла для трех спектрально-двойных систем, изображенных на рисунке 43, пользуясь рисунком 44.

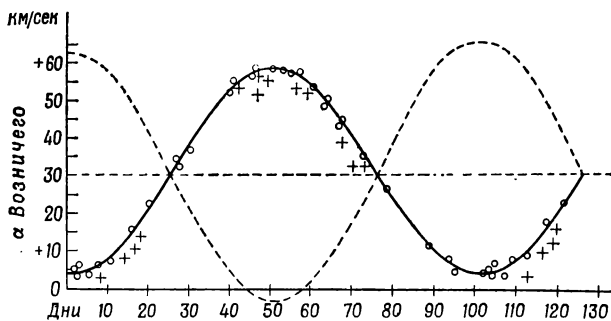
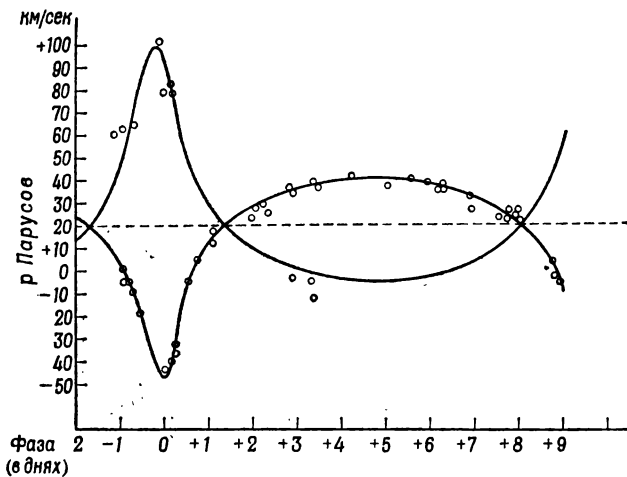
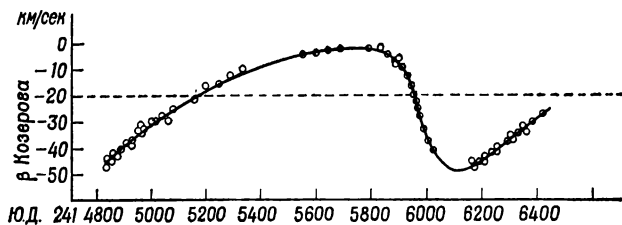


Рис. 43. Кривые лучевых скоростей спектрально-двойных звезд.

1116. Допустим, что относительная скорость составляющих двойной звезды должна быть не менее 8 км/сек для того, чтобы можно было определить спектральным путем, что звезда двойная. Как близки должны быть составляющие одна к другой для того, чтобы можно было найти, что звезда двойная, если масса системы составляет

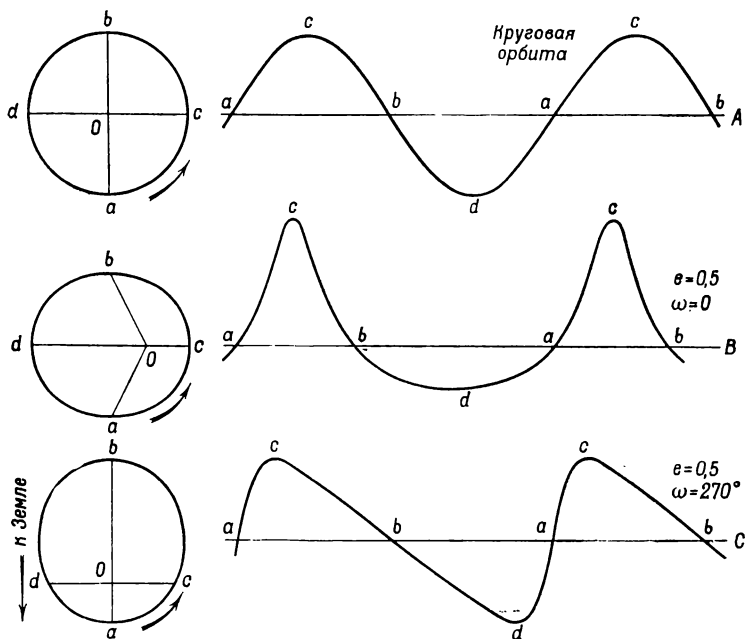


Рис. 44. Кривые лучевых скоростей для разных орбит спектрально-двойных звезд.

десять солнечных масс? *Указание:* Орбиту считать круговой, плоскость орбиты проходит через луч зрения.

1117. Определить радиус орбиты спектрально-двойной звезды Лакайль 3105, если относительная скорость компонентов достигает 620 км/сек, а период равен $3^d 2^h 46^m$, как это установлено по раздвоению линий в ее спектре. *Указание:* Сделать допущения, что орбита круговая и ее плоскость проходит через Солнце и что массы обоих компонентов одинаковы.

1118. Определить радиус орбиты, описываемой Спикой как компонентом спектрально-двойной системы, имеющей относительную орбитальную скорость 91 км/сек,

период $4^{\text{д}}0^{\text{ч}}19^{\text{м}}$. Указание: Орбиту считать круговой, а плоскость ее проходящей через Солнце.

1119. Определить массу спектрально-двойной системы, у которой радиус видимой орбиты совпадает с истинным радиусом относительной орбиты, если обе звезды одинаковы, период составляет $3^{\text{д}}2^{\text{ч}}46^{\text{м}}$, а радиус видимой орбиты равен 26 600 000 км.

1120. Какова масса системы, если главная «темная» звезда двойной системы задачи 1118 равна по массе яркой звезде? (В этом случае радиус относительной орбиты является диаметром орбиты Спика.)

1121. Какова масса системы (см. задачу 1118), если «темная» звезда имеет массу, равную одной четверти массы яркой звезды? (В этом случае орбита «темной» звезды имеет радиус вчетверо больше радиуса Спика и радиус относительной орбиты впятеро больше радиуса относительной орбиты Спика.)

1122. Определить массу системы Спика (см. задачу 1118), допустив, что масса яркой звезды бесконечно мала в сравнении с массой «темной» звезды. (Эти условия, конечно, маловероятны.)

1123. Круговая орбита визуально-двойной звезды с составляющими 7,3 и 7,3 величины одинакового спектра (класс G) наклонена к лучу зрения на 45° . Наибольшая наблюдаемая лучевая скорость спутника относительно главной звезды равна 20 км/сек, а наибольшая наблюдаемая скорость движения спутника $0'',05$ в год. Период обращения составляет 6 лет; орбита — круговая. Определить размеры, параллакс, массу и светимость каждого компонента системы, радиус относительной орбиты. Найденные массы сравнить с тем, что вы можете получить по определенной светимости и кривой зависимости «масса — абсолютная величина». (ВВ)

XXVI. ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЕЗДЫ И НОВЫЕ ЗВЕЗДЫ

Переменные звезды разделяются на *периодические* и *неправильные*. Периодические переменные характеризуются тем, что колебания их блеска периодически повторяются. Колебания блеска характеризуются *амплитудой*, т. е. величиной изменений блеска, и *продолжительностью периода* P , который находится из наблюдений. Момент

наступления определенного блеска звезды, например максимума ее блеска, находится по формуле

$$M = M_0 + PE,$$

где M_0 — какой-нибудь данный момент максимума, а E — целое число. При таких расчетах удобно выражать моменты в так называемых юлианских днях, где любой день каждого года выражается его номером. Юлианский день, соответствующий каждому числу месяца и года,

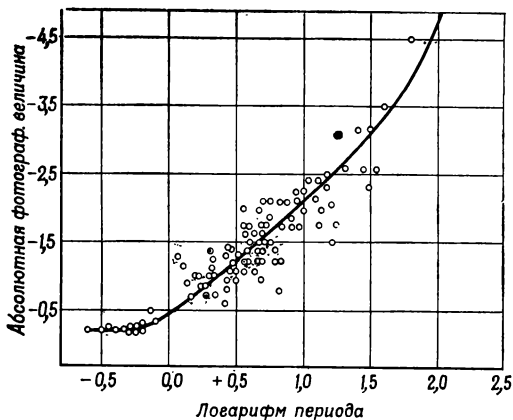


Рис. 45. Кривая «период — абсолютная величина» цефеид. На оси абсцисс отложены логарифмы периода, выраженного в сутках.

можно найти в «Астрономическом календаре» (в переменной или в постоянной его части). *Указание:* Часы и минуты удобнее при этом выражать в долях суток, для чего следует использовать таблицу III в конце книги.

Периодические переменные звезды в зависимости от вида кривой их блеска и периода делятся на *алголи* (или затменные двойные), *цефеиды* (короткопериодические и долгопериодические с периодом от нескольких часов до нескольких суток) и *долгопериодические* звезды. Причина изменения блеска алголей указана в разделе XXV. Кривая изменения их блеска характеризуется продолжительным периодом постоянного блеска и сравнительно короткими и быстрыми периодами изменения блеска, происходящими во время затмения одной звезды другой. Кривая изменения блеска цефеид характеризуется непрерывным изменением блеска, причем увеличение его обычно проис-

ходит быстрее, чем убывание блеска. Их переменность объясняется периодическими пульсациями поверхности (т. е. периодическим изменением размеров звезды), сопровождаемыми изменением температуры. Цефеиды обладают замечательным свойством — их истинный блеск (или их абсолютная величина) связан с продолжительностью периода изменения блеска. Эта связь в форме кривой «период — абсолютная величина» изображена на рисунке 45.

Кривые изменения блеска долгопериодических звезд напоминают кривые блеска цефеид, но от раза к разу несколько изменяются, и период их больше 90 суток. Причины изменения блеска, по-видимому, те же, что и у цефеид.

ПЕРВЫЙ КОНЦЕНТР

1124. Сравнить три фотографии одной и той же области неба (рис. XVIII) и найти переменные звезды. (BB)

1125. Переменная звезда Удивительная Кита (Mira Ceti) в максимуме блеска достигает 2,5 величины, а в минимуме 9,2 величины. Во сколько раз она ярче в максимуме, чем в минимуме?

1126. Во сколько раз переменная звезда слабее в минимуме блеска, чем в максимуме, если в максимуме она бывает 9,5 зв. величины, а в минимуме 12,5 зв. величины.

1127. Максимум звезды χ Лебеда был 20 мая, период ее 405,6 суток. Когда был ее максимум в три последующие года. *Указание:* Удобно использовать юлианские дни.

1128. Один из минимумов Алголя пришелся на 3 января 13^ч55^м мирового времени. Исходя из продолжительности периода Алголя, равного 2,8673 суток, вычислить момент ближайшего минимума в текущем году и месяце. *Указание:* Для этого удобно использовать таблицу для превращения долей суток в часы и минуты.

1129. Во сколько раз изменяется радиус цефеиды, если амплитуда изменения ее блеска равна 1,5 зв. величины, а яркость единицы поверхности, допустим, остается постоянной? (BB)

1130. Определить средний период и амплитуду изменения блеска χ Лебеда по рисунку 46.

1131. Превратить звездные величины χ Лебеда в максимумах (рис. 46) в блеск и сравнить их.

1132. Определить период изменения блеска затменно-двойной звезды (типа Алголя) RV Змееносца, если не-

которые из минимумов наблюдались в следующие моменты, выраженные в юлианских днях:

2416604,701	2418112,739
6641,572	8138,548
7334,753	8477,764

Период определить с точностью до пятого знака после запятой.

Ю.д.242

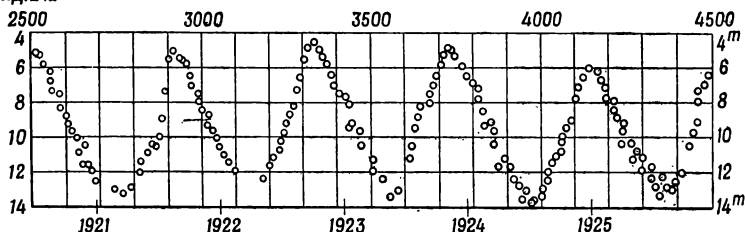


Рис. 46. Кривая изменения блеска χ Лебедя. Числа наверху — юлианские дни, внизу — годы.

1133. Построить кривую блеска переменной звезды, если для определенных моментов времени, отсчитываемых в сутках от произвольного начала, дан соответствующий блеск в звездных величинах:

0д,01	7 ^m ,36	0д,21	7 ^m ,60	0д,53	7 ^m ,72
0,03	7,28	0,26	7,68	0,55	7,64
0,06	7,28	0,34	7,74	0,56	7,49
0,09	7,36	0,38	7,76	0,58	7,36
0,12	7,42	0,44	7,77	0,60	7,28
0,17	7,52	0,49	7,78	0,62	7,28

Определить амплитуду и период колебаний блеска. Как называются переменные звезды с кривой изменения блеска такого вида? (ВВ)

1134. Имеются следующие наблюдения переменной звезды (приводятся юлианские дни и звездные величины):

m		m		m		m		m	
2425799,3	6,63	810,3	6,51	818,3	6,77	826,4	6,40	835,4	6,68
800,3	6,64	811,3	6,51	819,3	6,77	827,3	6,49	836,4	6,64
801,3	6,61	812,3	6,57	820,3	6,57	828,3	6,57	837,3	6,30
802,3	6,57	813,3	6,57	821,3	6,31	829,3	6,64	838,3	6,24
803,3	6,53	814,3	6,58	822,3	6,27	830,3	6,75	839,3	6,20
804,3	6,31	815,3	6,63	823,3	6,31	831,3	6,80	840,3	6,33
805,3	6,27	816,3	6,71	824,3	6,31	832,3	6,81	841,3	6,33
809,3	6,39	817,3	6,73	825,3	6,36	834,4	6,71	844,3	6,64

Нанести их на график. Определить период и амплитуду звезды; указать тип звезды. (ВВ)

1135. Переменная звезда по наблюдениям в мае 1949 г. имела следующий блеск:

<i>m</i>			<i>m</i>			<i>m</i>			<i>m</i>		
Мая	4,5	4,00	Мая	14,5	4,13	Мая	21,5	3,72	Мая	25,5	4,16
»	6,5	3,87	»	16,5	3,70	»	22,5	3,84	»	28,5	3,93
»	7,5	3,91	»	17,5	3,90	»	23,5	3,97	»	29,5	4,10
»	13,5	4,05	»	19,5	4,11	»	24,5	4,12	»	31,5	4,08

Нанести эти наблюдения на график и установить, каков, по всей вероятности, тип этой переменной звезды и каковы приблизительно ее период и амплитуда.

1136. Нижеприведенные наблюдения переменной звезды нанести на график:

	<i>m</i>		<i>m</i>		<i>m</i>		<i>m</i>		<i>m</i>
2426423	6,98	461	6,96	480	7,52	498	7,44	539	7,53
436	7,17	462	6,95	482	7,65	513	7,59	540	7,60
440	7,34	464	6,86	484	7,69	514	7,65	545	7,45
448	7,36	467	6,88	486	7,57	515	7,61	555	7,34
454	7,23	472	6,99	488	7,23	516	7,77	557	7,35
457	6,90	473	7,06	492	7,49	526	7,44	560	7,05

Что можно сказать об этой переменной звезде? (ВВ)

ВТОРОЙ КОНЦЕНТР

1137. Почему изменения блеска и других характеристик цефеид нельзя объяснить затмениями?

1138. Пользуясь кривой «период — абсолютная величина» (рис. 45), найденной для цефеид, определить расстояние до цефеиды ξ Близнецов, имеющей период 10 суток и среднюю видимую фотографическую звездную величину 4,8.

1139. Переменная звезда δ Цефея имеет период в 5 дней и среднюю видимую фотографическую звездную величину 4,4. На каком расстоянии от нас в парсеках находится δ Цефея? *Указание:* воспользоваться рис. 45.

1140. Определить отношение поверхностных яркостей компонентов двойной звезды Алголь, если их блеск находится в отношении 0,93 : 0,07, а их радиусы составляют 0,21 и 0,24 радиуса Солнца.

1141. Если амплитуда изменения блеска цефеиды в болометрических звездных величинах равна 2,0 и если

ее изменения блеска обусловлены пульсацией, каково изменение ее радиуса? В максимуме блеска температура звезды $T_1 = 9000^\circ$, а в минимуме $T_2 = 7000^\circ$. (ВВ)

1142. Определить отношение радиусов $r : R$ слабой и яркой звезд в системе затменной двойной звезды типа Алголя, если из наблюдений известно, что отношение ее блеска в минимуме к блеску в максимуме равно k . Указания: Воспользоваться рисунком 47, изображающим момент центрального затмения яркой звезды T

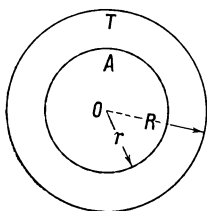


Рис. 47.

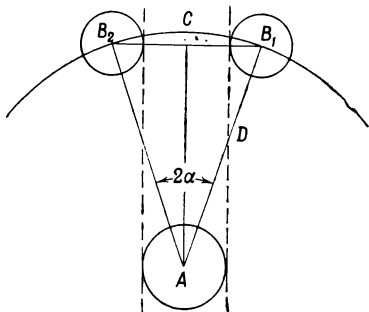


Рис. 48.

менее яркой звездой A . Учесть, что блеск звезды при затмении пропорционален незакрытой площади. Спутник A считать совершенно темным. (ВВ)

1143. Определить радиус D относительной орбиты «темного» спутника затменной двойной системы типа Алголя в единицах радиуса R яркой звезды, считая орбиту круговой и зная отношение радиусов звезд $r : R$, период изменения блеска (обращения звезд) P и продолжительность его изменения (продолжительность затмения) p . Указание: Воспользоваться рисунком 48, на котором A — главная звезда, а B_1 и B_2 — спутник в начале и в конце затмения. (ВВ)

1144. Пользуясь формулой, данной в ответе к задаче 1142, определить отношение радиуса «темного» спутника к радиусу главной яркой звезды в системе звезды типа Алголя RZ Кассиопеи, если из наблюдений определена амплитуда изменения ее блеска: 6,4—7,7 зв. величины. (ВВ)

1145. Определить по формулам, данным в ответах к предыдущим задачам, отношение радиусов «темного»

спутника и яркой звезды в системе звезды типа Алголя TW Андромеды, а также радиус орбиты спутника в радиусах главной звезды. Для TW Андромеды из наблюдений известно, что период ее равен 4,1227 дня, продолжительность затмения 8,8 часа, а амплитуда изменения блеска 8,6—11,5 зв. величины. (ВВ)

1146. Изменится ли вид кривой блеска звезды типа Алголя и как, если спутник его не совсем темный, а сам светится в несколько раз слабее, чем главная звезда?

1147. По кривым затменно-двойных звезд, изображенным на рисунке 49, определить качественно элементы затмения, т. е. его продолжительность, полное затмение, частное или кольцеобразное, составляет ли блеск спутника заметную долю блеска главной звезды, как велики размеры обеих звезд сравнительно с радиусом их относительной орбиты. На какой кривой сказался эффект фазы, т. е. влияние освещения менее яркой звезды более яркой? (ВВ)

1148. Известно, что плотность яркой звезды в затменно-двойной системе может быть определена даже без знания ее истинных размеров. Теория приводит, например, к приближенной формуле, дающей плотность звезды в до-

лях плотности Солнца: $\rho = \frac{1}{74,4 P^2 r^3}$, в которой P — период обращения в днях, r — радиус яркой звезды в долях радиуса орбиты, известный из фотометрических наблюдений. Оценить по этой формуле плотность звезды RZ Кассиопеи, для которой $r = 0,28$ и $P = 1^д,20$. (ВВ)

1149. Истинный период изменения блеска затменной переменной равен 3 суткам, а лучевая скорость ее равна +30 км/сек. Чему равен наблюдаемый непосредственно период этой звезды? Указание: Учесть скорость распространения света. (ВВ)

1150. Переменная звезда имеет эклиптические координаты λ и β . Доказать, что если T — момент максимума

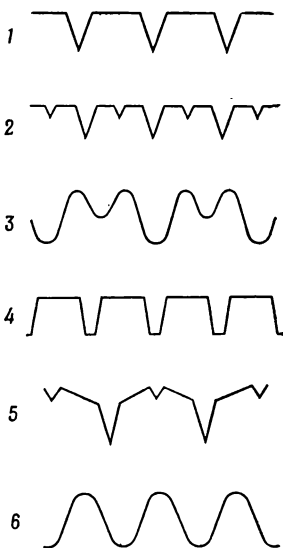


Рис. 49. Кривые изменения блеска алголей.

ее блеска для наблюдателя на Земле, а T_0 — момент того же явления для наблюдателя на Солнце, то имеет силу соотношение

$$T_0 = T - \frac{a}{c} \cos \beta \cos (\lambda - \odot),$$

в котором a — радиус земной орбиты в километрах, c — скорость света в километрах, $\odot$ — долгота Солнца.

1151. Новая звезда в Персее 1901 г. за двое суток увеличила блеск от 12-й величины до 2-й. Во сколько раз в среднем она становилась ярче за сутки?

1152. Новая звезда 1918 г. в созвездии Орла в максимуме блеска имела абсолютную величину $M = -8,8$. Во сколько раз она была ярче Солнца? На каком расстоянии она находилась, если ее видимая величина была $m = -1,1$? С какого расстояния она казалась бы такой же яркой, как полная Луна? *Указание:* Видимый блеск полной Луны равен — 12,5 зв. величины.

1153. В созвездии Геркулеса в 1934 г. вспыхнула новая звезда. Ее блеск в течение суток увеличился на 5 звездных величин. Расстояние до звезды, измеренное тотчас после вспышки, оказалось равным 1800 световым годам. Исходя из принципа отсутствия скоростей, больших скорости света, доказать, что упомянутая вспышка не могла быть вызвана внезапным приближением звезды к Земле. (ВВ)

1154. Можно ли изменением температуры объяснить болометрическую амплитуду изменения блеска новых звезд, равную 13 зв. величинам (хотя это и без того опровергается спектральными данными)? *Указание:* Произвести расчет, принимая температуру поверхности до вспышки равной $10\,000^\circ$. (ВВ)

XXVII. СТРОЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ

Подавляющая часть звезд, видимых в телескопы и на фотографиях, образует единую систему, называемую *Галактикой*. По своей форме Галактика напоминает линзу; число звезд увеличивается по направлению к плоскости симметрии этой фигуры и к центру системы. Солнечная система находится почти в плоскости симметрии этой системы и довольно далеко от ее центра. Поэтому в плоскости симметрии по любому направлению наш взор про-

низывает наибольшее протяжение звездной системы, и в этих направлениях мы видим больше всего звезд. Далекие звезды, кажущиеся слабыми, сливаются в сплошное сияние и образуют на небе полосу *Млечного Пути* в виде кольца. Число звезд, видимых на небесной сфере, быстро возрастает с приближением к средней линии Млечного Пути, и тем быстрее, чем видимый блеск этих звезд слабее.

Звездная система Галактики окружена *шарообразными скоплениями звезд*, а дальше на огромных расстояниях рассеяны *галактики*, из которых многие имеют спиральное строение. Эти галактики являются гигантскими звездными системами, по размерам и форме напоминающими нашу Галактику.

Расстояния до крайне удаленных от нас шаровых звездных скоплений и галактик точнее всего определяются в тех случаях, когда в этих звездных скоплениях видны переменные звезды — цефеиды, абсолютные величины которых зависят хорошо известным образом от периодов изменения их блеска (см. рис. 45). Период и видимая звездная величина цефеиды находятся из наблюдений, и тогда параллакс цефеиды π определяется по формуле

$$\lg \pi = -1 - 0,2 (m - M).$$

Так как размер звездной системы, содержащей цефеиду, мал сравнительно с ее расстоянием до нас, то найденный параллакс практически равен параллаксу этой звездной системы в целом.

Пространство между звездами внутри Галактики, преимущественно вблизи плоскости ее симметрии, заполнено крайне разреженной средой (*межзвездными газами*). Когда луч света проходит большую толщу этой среды, он частично поглощается, так что, вообще говоря, чем дальше от нас находится какая-нибудь звезда, тем ее блеск слабее в сравнении с тем, каким бы он был в случае совершенно прозрачного пространства.

ПЕРВЫЙ КОНЦЕНТР

1155. Планетарная туманность в созвездии Лиры имеет угловой диаметр $83''$ и находится от нас на расстоянии в 660 парсеков. Каковы ее линейные размеры в астрономических единицах?

1156. В шаровом звездном скоплении NGC 5694 видимые звездные величины звезд на 18 величин больше их абсолютных величин. Каково расстояние до этого звездного скопления?

1157. Угловой диаметр шарового звездного скопления NGC 5694 равен $3'$, а расстояние до него равно 40 000 парсеков. Каков линейный диаметр скопления?

1158. Видимый блеск цефеиды в звездном скоплении созвездия Геркулеса равен $m = 15,1$. По длине ее периода известно, что ее абсолютная величина $M = 0,0$. Определить расстояние до скопления в Геркулесе.

1159. Звездное скопление в Геркулесе отдалено от нас на 10,5 тыс. парсеков, его угловой диаметр равен $12'$ и суммарный блеск равен 5,9 зв. величины. Вычислить действительный диаметр скопления и его абсолютную звездную величину.

1160. Пользуясь кривой «период — абсолютная величина» для цефеид (см. рис. 45), определить расстояние в световых годах и линейный диаметр спиральной галактики в созвездии Треугольника, если ее угловой диаметр равен 1° , а период наблюдающихся в ней цефеид составляет 13 дней при видимой звездной величине 19,6.

1160а. Принимая постоянную Хаббла $H = 100 \text{ км/сек} \cdot \text{млс}$, оцените расстояние до галактики, если «красное смещение» в ее спектре составляет 10 000 км/сек. ($\dot{H}$ — это величина, на которую статистически увеличивается красное смещение линий в спектре с увеличением расстояния до галактик на 10^6 парсек.)

1161. Средняя видимая фотографическая звездная величина короткопериодических цефеид (со средним периодом $0^d,54$), находящихся в шаровом звездном скоплении Мессье 3, равна 15,50. Пользуясь кривой «период — абсолютная величина» (рис. 45), определить расстояние до этого шарового скопления.

1162. На рисунке 50 изображена часть звездного неба по звездному атласу проф. А. А. Михайлова, содержащему звезды до $7\frac{1}{2}$ —8 зв. величины. Подсчитать число звезд между 40° и 50° склонения и между кругами прямого восхождения 3^h0^m и 3^h20^m (через этот участок проходит Млечный Путь). Подсчитать число звезд в участке между теми же пределами склонения, но между кругами прямого восхождения 3^h40^m и 4^h0^m (эта область лежит уже вне поля Млечного Пути). Сравнить полученные числа друг с другом. (ВВ)

1163. Пользуясь картой звездного неба (рис. 50), определить приблизительно путем подсчета число звезд ярче 4-й, ярче 6-й и ярче 8-й величины на данной площади неба

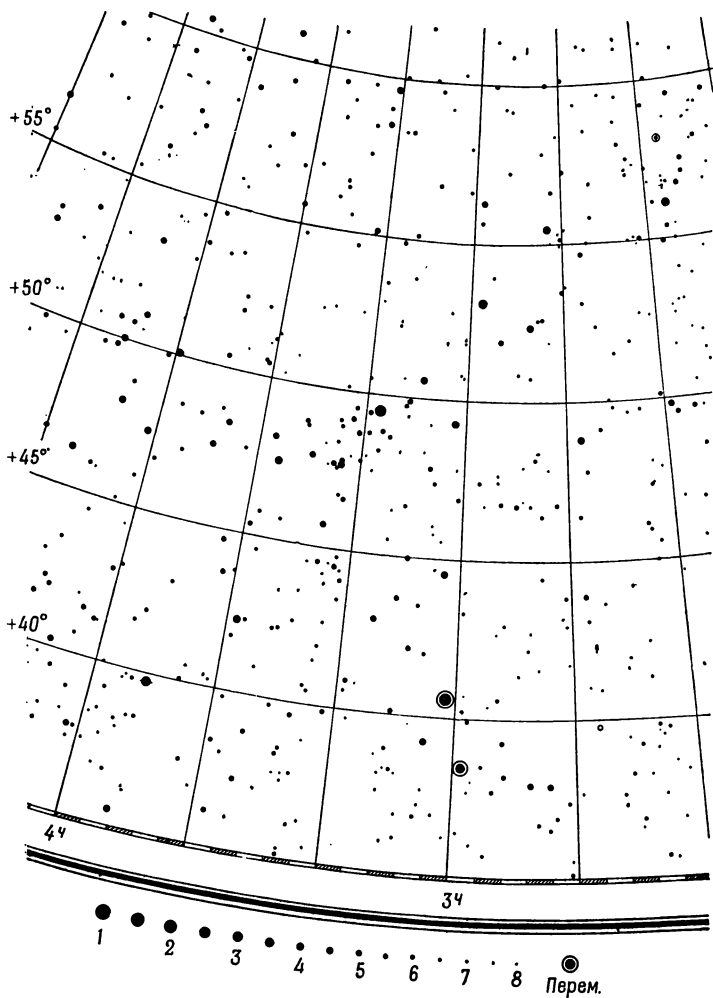


Рис. 50. Карта звездного неба в области созвездия Персея.

такого же размера, как и в предыдущей задаче, и определить отношение полученных смежных чисел друг к другу. (ВВ)

1164. По какому закону должно изменяться число звезд внутри сферы, описанной около Солнца, если окружающие его звезды расположены внутри плоскопараллельного слоя? (ВВ)

1165. Вычислить, во сколько раз число звезд ярче m -й видимой величины должно быть меньше числа звезд до $(m + 2)$ -й величины, предполагая распределение звезд в пространстве равномерным, а истинную яркость всех звезд одинаковой.

1166. Две новые звезды, одна очень яркая, другая очень слабая, находились на одном и том же видимом угловом расстоянии от средней линии Млечного Пути (т. е. обладали одной и той же галактической широтой). Одинаково ли эти звезды отстоят линейно от плоскости Млечного Пути?

Указание: Абсолютные величины всех новых звезд в максимуме различаются не очень сильно. (ВВ)

1167. Начертить диаграмму и показать, что то обстоятельство, что средняя линия Млечного Пути несколько отклоняется от большого круга,— являясь малым кругом, проходящим на небольшом расстоянии от большого круга,— свидетельствует о том, что солнечная система не находится точно в галактической плоскости (плоскости симметрии звездной системы Млечного Пути).

1168. Какой вид будет иметь Млечный Путь для наблюдателя, находящегося в плоскости его симметрии, но очень далеко от его центра? Как скажется на видимой нами форме Млечного Пути положение наблюдателя далеко вне плоскости его симметрии?

Примечание: Поглощением света в пространстве пренебречь. (ВВ)

1169. Влияние вращения звезд около центра Галактики на их лучевые скорости выражается приближенной формулой

$$\Delta V_r = Ar \sin 2(l - l_0),$$

где l есть галактическая долгота звезды, $l_0 = 325^\circ$ есть галактическая долгота направления к центру Галактики, а r — расстояние звезды в парсеках. Постоянная $A = 0,020$ км/сек на парсек. Для группы звезд, находящихся на небольшом участке неба с галактической долготой $l = 345^\circ$, средняя лучевая скорость, исправленная за все

известные эффекты, оказалась равной 30 км/сек. Каково ее расстояние от Солнца, если указанная остаточная скорость целиком вызвана ее галактическим вращением? (ВВ)

1170. Доказать, что поглощательная способность данной массы пыли обычно пропорциональна радиусу частичек, на которые она разделена.

1171. По «методу цефеид» было определено расстояние до ряда спиральных галактик. Позднее выяснилось, что межзвездное пространство несколько поглощает свет, идущий сквозь него. Как должно было повлиять это открытие на вычисленные ранее диаметры спиральных галактик? (ВВ)

1172. Если допустить, что линейные диаметры и абсолютные суммарные звездные величины всех шаровых скоплений одинаковы, то какой формулой должны быть связаны их видимые суммарные звездные величины m и видимые угловые диаметры d , учитывая, что расстояния до скоплений различны? (ВВ)

1173. Как изменится зависимость между угловыми диаметрами и суммарными видимыми звездными величинами шаровых звездных скоплений (см. предыдущую задачу), если в межзвездном пространстве существует заметное поглощение света? (ВВ)

1174. В спиральной галактике, отстоящей от нас на 7,5 млн. световых лет, обнаружены две цефеиды, имеющие одинаковый период, но одна из них находится на ближайшем к нам краю галактики, другая же на 20 000 световых лет дальше. Каково различие видимых величин этих звезд, если считать их абсолютные величины строго одинаковыми? (ВВ)

1175. Если абсолютная фотографическая величина некоторых галактик равна — 13,8 а предельная фотографическая видимая звездная величина их для $2\frac{1}{2}$ -метрового рефлектора равна 20,2, то каково в световых годах расстояние до наиболее далеких из них, доступных этому телескопу?

1176. Какая форма из известных в математике спиральных кривых ближе всего подходит к форме спиральной галактики в созвездии Гончих Псов (см. рис. XIX).

Указание: Выяснить это путем измерения ветвей туманности в полярных координатах (r и φ). (ВВ)

XXVIII. СМЕШАННЫЙ РАЗДЕЛ

В настоящем разделе приведены задачи по преимуществу комплексного характера, требующие одновременного применения различных астрономических сведений. Сюда вошли также несколько интересных задач, не нашедших себе почему-либо места в предыдущих разделах.

ПЕРВЫЙ КОНЦЕНТР

1177. Китайская задача. «Когда вечером хвост Большой Медведицы обращен к востоку,— писал китайский мудрец Го-Коан-Тсе в IV в. н. э.,— на свете бывает весна; когда он обращен на полдень — стоит лето; когда направлен к западу — бывает осень, а когда смотрит на север, то стоит зима». Справедливо ли это для СССР? (Каменьщиков.)

1178. Задача Вергилия. Вергилий, римский поэт I в. до н. э., говорит, что пахать землю надо в ту пору, когда блесит на небе Арктур:... «когда же не будет плодородна, под самым Арктуrom довольно вспахать ее будет легонько». Когда это бывает? (Каменьщиков.)

1179. Озирис-Сагу. В священных египетских книгах созвездие Ориона называется «Озирис-Сагу» — «владыка всех небесных движений». По преданию «Озирис-Сагу» открыл источник Нила и указал путь Солнцу. Когда Орион восходит вместе с Солнцем? (Каменьщиков.)

1180. Сириус у нас колхозники иногда называют «зорицей». «Зорица хлеб зорит: когда хлебу зреть, так она и взойдет». Когда Сириус начинает восходить перед восходом Солнца? (Каменьщиков.)

1181. Встреча В. Г. Короленко с бродягой Богыляем. В повести «Соколинец» В. Г. Короленко пишет: «Мы оба вышли на двор. Мороз сдавал, туман рассеялся. Бродяга посмотрел на небо. «Стожары-то высоко поднялись,— сказал он.— За полночь зашло» *). Спрашивается, когда это было,— по крайней мере в каком месяце? Стожарами называют Плеяды. (Каменьщиков.)

1182. Охота Облонского и Левина. «Стало темнеть. Ясная, серебряная Венера низко на западе уже сияла из-за березок своим нежным блеском, и высоко на востоке уже переливался своими красными огнями мрач-

*) В. Г. К о р о л е н к о, Соколинец, гл. VI.

ный Арктурус. Над головой у себя Левин ловил и терял звезды «Медведицы» *).

Эти строки относятся к описанию охоты Облонского и Левина. На основании данной Л. Н. Толстым картины неба определить, в какое время года и в каком месяце происходила эта охота? (Каменьщиков.)

1183. Путешествие «Наутилуса». «Когда „Наутилус“ еще был на Южном полюсе, созвездия блистали с удивительной ясностью. В зените сиял чудный Южный Крест — полярная звезда антарктических стран» **).

1) Может ли на Южном полюсе в зените стоять Южный Крест? 2) Если нет, то на какой широте стоял «Наутилус»? (Каменьщиков.) 3) Является ли Южный Крест «полярной звездой антарктических стран»?

1184. Плавание Одиссея. В описании плавания Одиссея от нимфы Калипсо к острову Схерия говорится:

«Радостно парус наярят Одиссей и, попутному ветру
Вверившись, поплыл. Сидя на корме и могучей рукою
Руль обращая, он бодрствовал; сон на его не спускался
Очи, и их не сводил он с Плеяд, с нисходящего поздно
В море Воота***), с Медведицы, в людях еще Колесницы
Имя носящей, и близ Ориона свершающей вечно
Круг свой, себя никогда не купая в водах Океана.
С нею богиня богинь повелела ему неусыпно
Путь соглашать свой, ее оставляя по левую руку»****)...

Определить из этого описания звездного неба, в какое время года, по какому направлению и в каком месяце совершал Одиссей этот свой путь. (Каменьщиков.)

ВТОРОЙ КОНЦЕНТР

1185. В газете «Известия ЦИК и ВЦИК» Е. К. Федоров, астроном плавучей научной станции «Северный полюс», писал 4 мая 1937 г.: «Определять координаты лагеря мы будем, главным образом, астрономическим путем... Следует отметить, что астрономическое определение днем, при Солнце, возможно лишь с точностью примерно до 0,5 км. Ночью, при звездах, определение будет более точным, допускающим ошибку лишь на 200—300 м».

*) Л. Н. Толстой. Анна Каренина, ч. 2, гл. XV.

**) Жюль Верн, 80 000 километров под водой.

***) Воот — созвездие Волопаса или, иначе, Боотеса.

****) Гомер, Одиссея, перевод Жуковского, песнь X, стихи 269—277.

Объяснить, почему ночные наблюдения дают более точные результаты, чем дневные. С какой точностью Е. К. Федоров определял на плавучей льдине на широте $+89^\circ$ зенитное расстояние Солнца и местное время? Какова будет ошибка в километрах по долготе в определении местоположения корабля, плывущего вдоль экватора, если штурман будет определять местное время с такой же точностью, как Е. К. Федоров определял его по Солнцу во время дрейфа? (ВВ)

1186. В газете «Красная Звезда» от 23 мая 1937 г. флагманский штурман советской экспедиции на Северный полюс И. Т. Спирин писал об арктических полетах: «Большое значение в таком перелете играет астрономия... Если сейчас определение и расчет позиционной линии по Солнцу занимает 8—10 минут, то у меня он занимает в полете не больше одной минуты... Примерно за 84° параллелью высота Солнца равна его склонению, а часовой угол Солнца равен его азимуту. На этом основании составлены специальные таблицы, в значительной мере упрощающие вычисления». Объяснить, как и почему условия видимости Солнца в полярном районе таковы, как пишет И. Т. Спирин. Почему указанные обстоятельства облегчают вычисление данных, нужных для установления курса самолета и его координат? (ВВ)

1187. В пределах советского сектора Арктики есть остров Рудольфа, расположенный между $81^\circ 44'$ и $81^\circ 53'$ северной широты и $58^\circ 0'$ и $59^\circ 10'$ восточной долготы. Форма его почти квадратная. Какова площадь этого острова? Когда там начинается и когда кончается полярный день? Сколько км от этого острова до Северного полюса? В котором часу по местному времени зимовщики острова слышат по радио бой часов Кремлевской башни? Сколько времени подряд Сатурн там может быть невидим? (ВВ)

1188. Советские летчики М. М. Громов, А. Б. Юмашев и С. А. Данилин вылетели из Москвы в беспосадочный полет в Северную Америку в $3^h 31^m$ 12 июля 1937 г. (по гражданскому времени, принятому в Москве). В Сан-Джасинто, в Калифорнии, они опустились через $62^h 17^m$ после старта. Географические координаты Сан-Джасинто $\varphi = 33^\circ$, $\lambda = 120^\circ$ к западу от Гринвича. В котором часу местного времени и какого числа месяца (по местному счету в Сан-Джасинто) советские летчики коснулись американской земли? Каково было в этот момент положение Солнца относительно горизонта Сан-Джасинто?

1189. Измеренная на корабле полуденная высота нижнего края Солнца была $62^{\circ}24'45''$, склонение центра Солнца равнялось $20^{\circ}55'10''$, а его полудиамер $15'47''$. При данной высоте суточный параллакс Солнца составлял $5''$, рефракция соответствовала нормальной табличной (давление 760 мм, температура 10°C). Наблюдатель находился на высоте 4,95 м над уровнем моря. Определить географическую широту местонахождения корабля. (ВВ)

1190. Найти широту места (с учетом рефракции), зная, что нижний край Луны в меридиане имел высоту $49^{\circ}37'$ (Луна находилась к югу от зенита), склонение Луны было $+3^{\circ}13'$, ее радиус $15',0$, а ее горизонтальный параллакс $55',2$. Высота глаза наблюдателя над уровнем моря была 12 м.

1191. Доказать при помощи линий положения, что значительная ошибка в широте, определенной «счислением», не влияет на долготу, вычисляемую по наблюдениям Солнца в первом вертикале.

1192. 10 января высота Луны была измерена секстаном с самолета в $8^{\text{ч}}37^{\text{м}}33^{\text{с}}$ гринвичского времени и найдена равной $38^{\circ}55'$, а высота Солнца в $8^{\text{ч}}43^{\text{м}}58^{\text{с}}$ оказалась $12^{\circ}59'$. Наблюдения эти уже исправлены за рефракцию и за инструментальные ошибки. Известно, что в это время самолет имел координаты $\varphi = 37^{\circ}4'$, $\lambda = 76^{\circ}24' \text{ W}$. Высота Солнца, вычисленная для момента наблюдения, была $12^{\circ}55'$, азимут $\text{S } 39^{\circ} \text{ W}$, тогда как для Луны те же величины были $39^{\circ}4'$ и $\text{S } 81^{\circ} \text{ E}$ (влияние параллакса учтено). Провести линии положения и найти ошибку в определении положения самолета из наблюдений.

1193. В самый длинный день Солнце достигает в Днепропетровске высоты $h = 65^{\circ}$. Какую в это время имеет длину тень человека ростом в 1,80 м? (ВВ)

1194. Телеграфный столб освещен Солнцем. Высота столба $h = 9 \text{ м}$. Лучи от верхнего края Солнца, касательные к вершине столба, встречают горизонтальную плоскость под углом $\beta = 42^{\circ}17'$. Какова длина полутени столба, если видимый диаметр Солнца $d = 32'$?

1195. Прямая стена высотой h метров тянется по направлению θ (угол θ считается от юга к западу). Доказать, что в дни равноденствий стена не отбрасывает тени, когда часовой угол Солнца t определяется формулой $\text{tg } t = \sin \varphi \text{ tg } \theta$, и показать, что в истинный полдень ширина тени равна $h \text{ tg } \varphi \sin \theta$.

1196. Как велик центральный угол α шарового сегмента земной поверхности, освещаемого Луной в полуночии? *Указание:* Положить радиус Земли равным r , радиус Луны равным $0,273 r$, а взаимное расстояние Земли и Луны l равным $60 r$.

1197. Перечислить все известные явления, влияющие на определение координат звезд из наблюдений и подлежащие учету, когда желают выяснить собственное движение звезд на небесной сфере, для чего сравнивают координаты, определенные в моменты времени, разделенные промежутком не меньше десятилетия. *Указание:* Инструментальных ошибок во внимание не принимать. (ВВ)

1198. Как должны сменяться даты для пассажира самолета близкого будущего, который, ведя счет по поясному времени, вылетел из Ленинграда (2 пояс) на запад в полдень 1 июля и облетел Землю по параллели за 12 часов? (М. Борчев.)

1199. Какое светило земные наблюдатели видят в среднем дольше над горизонтом: Солнце или Луну? (М. Борчев.)

1200. Сколько времени прошло от соединения до противостояния планеты, если блеск ее за это время увеличился на 0,85 зв. величины? Орбиту планеты считать круговой и лежащей в плоскости эклиптики (М. Борчев).

XXIX. ЗАДАЧИ ПО КОСМОНАВТИКЕ

Из задач, связанных с космонавтикой, чаще всего приходится решать задачи на движение искусственных небесных тел. Основы теории движения тел переменной массы (в том числе и ракет) были заложены в работах И. В. Мещерского. Независимо от него К. Э. Циолковский разработал теорию реактивного движения в непосредственной связи с задачами космонавтики. Эта теория рассматривается обычно в курсах физики. Когда горючее ракеты использовано, ее оболочка, или несомый ею аппарат, двигаются дальше под действием поля тяготения, в котором они находятся. Если это поле центральное и определяется одним небесным телом, то движение в нем происходит по законам Кеплера, а орбита искусственного небесного тела, в зависимости от его скорости в заданной точке, определяется формулами, приведенными в разделе XVII. Искусственные небесные тела — спутники Земли, межпла-

нетные автоматические станции, космические корабли и т. д. — разгоняются до высоты h , преодолевая сопротивление атмосферы, уменьшающееся с высотой. Приобретенная телом на этой высоте h скорость определяет тип орбиты: размер ее большой полуоси a и ее эксцентриситет $e = 1 - q/a$, где q — расстояние перигея от центра Земли

$$q = r_0 = R + h,$$

R — радиус Земли.

В отличие от формул раздела XVII, в случае запуска с высоты h формулы, определяющие связь скорости, заданной на этой высоте, с параметрами, характеризующими вид орбиты, имеют следующий вид:

Первая космическая скорость, соответствующая круговой орбите: $V_k = \sqrt{gR^2 : (R + h)} = \sqrt{fm : (R + h)}$, где m — масса планеты, с которой производится запуск, g — ускорение силы тяжести на ней и f — постоянная тяготения. $R + h$ есть радиус круговой орбиты. При $h = 0$ $V_k = 7,91$ км/сек (для Земли).

Вторая космическая скорость, соответствующая освобождению от тяготения планеты, или, иначе говоря, движению по параболе: $V_{\pi} = V_k \sqrt{2}$.

Гиперболическая скорость $V_r > V_{\pi}$. При $V_k < V_{\pi} < V_r$ тело движется вокруг планеты по эллипсу, большая полуось которого a определяется формулой

$$V_{\pi}^2 = fm \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right),$$

где V_{π} — величина скорости в любой точке орбиты на расстоянии r от центра планеты. В частности,

$$V_{\pi 0}^2 = fm \left(\frac{2}{r_0} - \frac{1}{a} \right) = fm \left(\frac{2}{R + h} - \frac{1}{a} \right).$$

Здесь $V_{\pi 0}$ — скорость при запуске на высоте h . Расстояния перигея и апогея от центра планеты

$$\begin{aligned} q &= a(1 - e) = R + h_{\pi}, \\ Q &= a(1 + e) = R + h_a, \end{aligned}$$

где Q — расстояние от центра до апогея, а h_a, h_{π} — их расстояния от поверхности планеты. Термины апогей и перигей относятся к Земле — Гео, а к другим планетам термины надо приспосабливать соответственно. Например, для Луны — периселений и апоселений (так как другое название Луны — Селена), апоарес для Марса (Марс —

Арес) и т. п. Часто употребляют и понятия «апоцентр», «перигей». Периоды обращения тел по третьему закону Кеплера определяются как

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{f m}} a^{3/2} = \frac{2\pi}{R \sqrt{g}} a^{3/2}.$$

Если Землю считать равновеликим ей шаром с радиусом 6371 км, что достаточно для наших задач, то для нее

$$T = 1,659 \cdot 10^{-4} a^{3/2}$$

в минутах времени. Для круговой орбиты полагаем в наших формулах $r = a = R + h = q = Q$.

В принципе тяготение любого тела простирается до бесконечности, но, например, вблизи Земли тяготение к ней преобладает неизмеримо над тяготением к Солнцу, не говоря уже о тяготении к Луне и планетам. Поэтому на практике приближенно рассматривают движение космического тела как переходящего из «сферы действия» одного тела в «сферу действия» другого тела, и притяжением остальных тел пренебрегают в первом приближении. (Возмущения учитываются позднее.)

Радиус сферы действия тела с массой m относительно другого с массой m' и отстоящего на расстояние r таков:

$$\rho = r \left(\frac{m}{m'} \right)^{2/3}.$$

Для Земли, отстоящей от Солнца на 150 миллионов километров, по отношению к Солнцу радиус сферы действия несколько меньше 1 миллиона километров. Сфера действия Солнца берется по отношению к звездам. Чтобы искусственное небесное тело не упало на Солнце, выходя из сферы действия планеты, оно должно иметь относительно него скорость, большую нуля.

При запуске с Земли с горизонтальной скоростью, меньшей чем круговая, тело опишет эллипс, один из фокусов которого будет по-прежнему в центре Земли, но афелий будет внутри тела Земли, т. е. тело упадет на Землю. При запуске к Луне телу придается скорость $V_3 > V_k$ так, чтобы афелий лежал на лунной орбите и чтобы Луна приходила в эту точку тогда же, когда и тело. Это называется запуском по полуэллиптической орбите. Такой запуск требует минимально возможной скорости и, следовательно, требует минимума расхода горючего. Так же посылают космические станции и к планетам. По от-

ношению к Земле тело должно выйти из сферы ее притяжения со скоростью, большей чем вторая космическая скорость, т. е. большей чем $11,2 \text{ км/сек.}$ Обладая, кроме того, еще какой-либо дополнительной скоростью, не доводящей, однако, эту скорость до параболической относительно Солнца, тело опишет эллипс под действием тяготения Солнца. Это будет уже искусственная планета с фокусом в Солнце, а не в Земле. На расстоянии Земли от Солнца круговая скорость относительно Солнца $29,8 \text{ км/сек.}$, а параболическая в $\sqrt{2}$ раз больше, т. е. $42,1 \text{ км/сек.}$ При превышении этой скорости на том же расстоянии тело покинет сферу действия Солнца относительно звезд и уйдет навсегда из Солнечной системы. Если тело запускается с Земли в сторону ее движения, то у тела уже есть скорость $29,8 \text{ км/сек.}$ Дав телу разгон до $16,6 \text{ км/сек.}$, мы достигли бы *третьей космической скорости*, достаточной для отрыва от Солнца (т. е. $42,1 \text{ км/сек.}$).

В предыдущих разделах помещено около 70 задач, непосредственно связанных с космонавтикой. Это следующие задачи:

В разделе «Движение планет» 383, 401—403.

В разделе «Параллакс и абберация»: 468, 470, 478, 479.

В разделе «Движение и фазы Луны»: 582.

В разделе «Затмения»: 620, 621.

В разделе «Тяготение»: 656, 657, 677—679, 683—691, 695, 696, 709, 712, 718, 725, 726.

В разделе «Луна»: 807—813, 816—822, 824—826.

В разделе «Планеты»: 828, 834—842, 847, 849, 856, 866—869, 872.

В разделе «Метеоры и метеориты»; 912.

В разделе «Движения и природа звезд»: 993.

Эти задачи можно решать, проходя соответствующие разделы курса, или выбрать их по этому списку и решать, скажем, в кружке юных космонавтов либо при завершении курса, уже имея сведения из разных разделов, нужные для их решения. В связи с развитием космонавтики, ее значением и интересом к ней, мы приводим в данном разделе еще некоторые задачи, в том числе связанные с последними завоеваниями космоса и с проектами, рассчитанными на будущее. Все эти задачи достаточно элементарны.

Более сложные задачи по теории движения искусственных небесных тел читатель может найти в «Сборнике задач по небесной механике и космодинамике» М. Б. Балка, В. Г. Демина, А. Л. Куницына («Наука», 1972).

Мы не использовали возможности задания множества вопросов и задач, связанных с физикой космических полетов и путешествий, чтобы не перегружать наш сборник. Такие задачи во множестве включаются в современные задачки по физике.

1201. Космонавт Валентина Терешкова пролетела над Берлином в космическом корабле на высоте 170 км. Могла ли она одновременно видеть и Москву, отстоящую на 2000 км?

1202. Почему искусственные спутники Земли, проносясь по небосводу, при наблюдении с Земли как бы мерцают, меняются в блеске?

1203. Можно ли в кабине космического корабля, вращающегося вокруг Земли по окружности на высоте 100 км, взвешивать на рычажных или пружинных весах? А на высоте 1000 км?

1204. Почему внутри космического корабля, летящего с выключенными двигателями, тела невесомы?

1205. Куда должен быть брошен на парашюте контейнер с животными, чтобы космонавт, летящий по круговой орбите, вернул их на Землю?

1206. Почему получается так, что чем дальше мы хотим запустить искусственный спутник, тем большую начальную скорость ему должны придать, но чем ближе к Земле обращается спутник, тем короче период его обращения?

1207. Ракета-носитель, отброшенная спутником Земли, сначала движется за ним, а потом обгоняет его. Почему это происходит? Происходит ли то же самое при подготовке к возвращению на Землю космонавтов в корабле, находящемся еще на окололунной орбите?

1208. Какова скорость искусственных спутников Земли, движущихся по окружности на высотах 125, 250, 500 и 1000 км? Вычислите то же для искусственных спутников Марса.

1209. Спутник Земли, движущийся по орбите, в плоскости которой лежат полюсы Земли, называется полярным. Если его высота 250 км, то на сколько километров к Западу будет смещаться за один оборот проекция его орбиты на Земле на широте $57^{\circ}37'$?

1210. Вычислите линейные скорости космического корабля в перигее и в апогее, если над Землей в перигее он пролетает на высоте 227 км над поверхностью океана и большая ось его орбиты составляет 13 900 км.

1211. Первые советские космические корабли имели в перигее скорость в среднем около $7,9 \text{ км/сек}$ и их орбита составляла угол 65° с направлением вращения земной поверхности. Старт происходил на географической широте 47° . Каковы были величина и направление скорости ракет-носителей?

1212. Космический корабль выведен на круговую орбиту на высоте 250 км . Разгоняясь, активный участок орбиты он прошел за 5 минут. Вычислите среднее ускорение корабля и среднюю перегрузку, испытанную на этом участке космонавтами.

1213. Космонавты летят по круговой орбите вокруг Земли на высоте 930 км . Входя в ее тень, они погружаются в ночь, а пересекая ее полутень, они переживают сумерки. Вычислите длительность этих периодов, пренебрегая смещением Земли относительно Солнца. Сделайте чертеж.

1214. Для международной телевизионной связи нужен спутник, который бы все время как бы «висел» над какой-либо одной точкой Земли. Его надо запустить на восток — в сторону вращения Земли. На какую высоту его надо запустить?

1215. Можно ли с Земли различить на Луне невооруженным глазом отрезок длины, примерно равный $10,5 \text{ км}$, который в общей сложности прошел советский аппарат «Луноход-1» к концу своей работы 4 октября 1971 г.?

1216. Определите тип орбиты и продолжительность полета до Луны с минимальной затратой горючего.

1217. Когда космонавты облетают Луну по круговой орбите на высоте 50 км , на сколько надо им своими двигателями повысить скорость межпланетного корабля, чтобы направить его к посадке на Землю?

1218. Увидит ли космонавт из центра лунного цирка Коперник наивысшие точки его кольцевого вала высотой до 1500 м над дном этого цирка, диаметр которого 90 км ?

1219. Какова будет скорость искусственного спутника Луны, облетающего ее поверхность на высоте 50 км ?

1220. Определите скорости искусственных спутников Луны, Марса и Земли, обращающихся по круговым орбитам вокруг них на высоте 250 км .

1221. Какова дальность горизонта на лунной равнине для человека ростом $1,6 \text{ м}$? А на Марсе?

1222. Сколько времени после высадки на Марсе должны провести на нем космонавты, прежде чем им можно

будет отправиться в обратный путь, если оба перелета происходят по полуэллиптическим орбитам?

1223. Как часто при движении по полуэллиптическим орбитам можно отправлять на Марс космические корабли?

1224. Советские межпланетные станции «Марс-2» и «Марс-3», запущенные к Марсу в мае 1971 г., достигли его и сделались искусственными его спутниками по команде с Земли через 192 и 181 суток полета. На сколько полет их был продолжительнее, чем при движении по полуэллиптической орбите, соответствующей среднему расстоянию Марса от Земли в противостоянии?

1225. У советских искусственных спутников Марса «Марс-2» и «Марс-3» минимальные удаления от его поверхности составляли 1380 и 1500 км соответственно, а периоды обращения их были 18 часов и 11 суток соответственно же. Как далеко они удалялись от поверхности Марса в своих апоариях?

1226. Противостояние Марса было 10 августа 1971 г. Советские межпланетные станции «Марс-2» и «Марс-3» подлетели к нему 27 ноября и 2 декабря 1971 г. соответственно. Изобразите на чертеже взаимное расположение в это время Солнца, Земли и Марса, считая орбиты планет круговыми. (ВВ)

1227. На Луне установлены уголковые лазерные отражатели для отражения на Землю посланного к ним сигнала. Этот метод позволяет определить точное расстояние до отражателя по времени прохождения светового сигнала туда и обратно. Рассчитайте это время, если отражатель будет установлен на Марсе, а эксперимент с ним будет производиться вблизи квадратуры Марса. Орбиту планеты считать круговой. (ВВ)

1228. Неизвестные массу и среднюю плотность планеты можно определить, если знать, с какой скоростью и за какое время космический корабль облетает планету по окружности. Вычислите эти данные, если скорость равна 9 км/сек, время обращения 2 часа и расстояние от поверхности 100 км.

1229. Получив начальную скорость 11,2 км/сек, ракета покинет Землю навсегда и станет планетой-спутником Солнца, независимым от Земли. Чтобы вылететь из Солнечной системы, ракете надо получить еще добавочную скорость относительно Земли в 12,3 км/сек. Но какую скорость ей надо сообщить сразу у поверхности Земли для такого результата?

ОТВЕТЫ И РЕШЕНИЯ

К разделу I. ИНТЕРПОЛИРОВАНИЕ

1. В данном случае изменение уравнения времени за час в соседние дни почти одинаково, и достаточно к уравнению времени в полночь прибавить его часовое изменение, умноженное на 6, т. е. $1^m 4^c,06 + (0^c,546) \times 6 = 1^m 7^c,34$. 2. Интерполируя со вторыми разностями, получим:

$$\delta = + 23^\circ 15' 52'', 3.$$

3. $6^h 59^m 27^s,58$. 4. $7^h 25^m 18^s,60$. 5. $+22^\circ 18' 33'',8$. 6. $+3^m 37^s,43$. 7. Находим прецессию: для $\alpha = 1^h,8$ и $\delta = 60^\circ$ она равна $+4^c,1$, для $\alpha = 1^h,8$ и $\delta = 70^\circ$ она равна $+4^c,7$. (Разностями выше первой в данном случае вполне можно пренебречь.) Между двумя полученными значениями интерполируем для $\delta = 63^\circ$ и находим $+4^c,3$. (Если бы в таблице был столбец для $\delta = 80^\circ$, следовало бы посмотреть, как велика вторая разность по горизонтальному направлению.) 8. $+4^c,4$; $+4''$. 9. $+1^c,0$; $-0'',5$. 10. $+4^c,1$; $-6''$.

К разделу II. НЕБЕСНАЯ СФЕРА

I

11. 1,9 м. 12. 3 км. 18. В 8 часов вечера. 22. $34^\circ 15'$. 23. 55° . 25. Либо наблюдатель находится на одном из полюсов Земли, либо светило находится в одном из полюсов мира. 26. Эклиптика, первый вертикал, колюры равноденствий и солнцестояний. 27. Как большой круг, наклоненный к горизонту под углом $23^\circ 27'$. 28. $(90^\circ - 55^\circ 45') \pm 23^\circ 27'$. Наибольший угол $57^\circ 42'$, наименьший $10^\circ 48'$. 29. На полярных кругах, на северном — в момент восхода точки весеннего равноденствия, на южном — в момент ее захода. 30. См. ответ к предыдущей задаче. 31. $84\frac{1}{2}^\circ$. 32. $11\frac{1}{2}^\circ$; $58\frac{1}{2}^\circ$; 0° ; 47° . 33. $\sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2 \cos\theta}$.

К разделу III. СИСТЕМЫ НЕБЕСНЫХ КООРДИНАТ

I

34. Южный полюс мира. 35. $89^{\circ}2'$. 36. 180° ; 0° ; 270° ; 90° . 37. $+42^{\circ}$. 38. $A = 180^{\circ}$, $h = 23^{\circ}27'$. 39. 0° ; неопределенный. 40. 6° ; 18° или -6° . 41. $a = \delta = 0$. 42. Для точки весеннего равноденствия. Для нее $\lambda = \beta = 0$. 43. $+66\frac{1}{2}^{\circ}$; 90° . 44. $18^{\circ}0^{\text{M}}$; $+66\frac{1}{2}^{\circ}$. 45. $\beta = 90^{\circ}$, λ — неопределенная. 46. 45° . 47. В созвездии Близнецов. 49. Потому что этот счет соответствует суточному вращению небесной сферы. 50. Потому что в этом случае моменты кульминации звезд расположены в порядке прямых восхождений. 51. Для первой $18^{\text{h}}57^{\text{m}}1^{\text{s}}$, 13. 52. Для первой $49^{\circ}17'15''$. 53. 5° . 54. На юго-запад. 55. В восточной части. 56. 6° . 57. $2^{\text{h}}39^{\text{m}}$. 58. $\alpha - 12^{\circ} < s < \alpha$. 59. $t = 6^{\text{h}}44^{\text{m}}$. 60. $s = 3^{\text{h}}24^{\text{m}}$. 61. $14^{\text{h}}36^{\text{m}}38^{\text{s}}$. 62. Низко на юге в обоих случаях. 63. В зените. 64. В западной ($5^{\text{h}}26^{\text{m}}$) и в восточной ($18^{\text{h}}50^{\text{m}}$); в восточной ($17^{\text{h}}26^{\text{m}}$) и в западной ($6^{\text{h}}50^{\text{m}}$). 65. $1^{\text{h}}24^{\text{m}}$; 66. $13^{\text{h}}24^{\text{m}}$; $1^{\text{h}}24^{\text{m}}$. 67. 0° . 68. Для наблюдателя, находящегося на земном экваторе и наблюдающего экваториальную звезду. 69. На северном полярном круге в момент восхода точки весеннего равноденствия. 70. Колюры солнцестояний (кроме дуг от полюсов эклиптики до ближайших к ним полюсов мира). 71. Большой круг, проходящий посередине между экватором и эклипкой и образующий с ними углы в $78^{\circ}16'$, 5. 72. Равноденственные точки. 73. $\delta = 28^{\circ}$; $\alpha = 12^{\text{h}}40^{\text{m}}$. 74. Кульминирующие к северу от зенита (и восходящие южнее точки востока, если не считать пересечения с первым вертикалом, происходящего под горизонтом).

II

75. $83^{\circ}46'32''$, $57^{\circ}40'45''$ и $72^{\circ}49'50''$. 76. $\cos l = \sin \delta_1 \sin \delta_2 + \cos \delta_1 \cos \delta_2 \cos (\alpha_2 - \alpha_1)$. 77. $l = 5^{\circ}23'$. Так как $\alpha_2 - \alpha_1$ мало, то с точностью до $1'$ можно считать ее равной нулю. 78. Длина пути $71^{\circ}18'10''$, углы $40^{\circ}13'48''$ и $69^{\circ}14'45''$. 79. $\sin \delta = \sin \varphi \cos z - \cos \varphi \sin z \cos A$, $\cos \delta \cos t = \cos \varphi \cos z + \sin \varphi \sin z \cos A$, $\cos \delta \sin t = \sin z \sin A$. После приведения к логарифмическому виду

$$\cos \delta \sin t = \sin z \sin A, \quad \cos \delta \cos t = n \cos (\varphi - N),$$

$$\sin \delta = n \sin (\varphi - N),$$

где $n \sin N = \sin z \cos A$ и $n \cos N = \cos z$ ($n > 0$).

$$80. \cos \beta \cos \lambda = \cos \delta \cos \alpha,$$

$$\cos \beta \sin \lambda = \sin \varepsilon \sin \delta + \cos \varepsilon \cos \delta \sin \alpha,$$

$$\sin \beta = \cos \varepsilon \sin \delta - \sin \varepsilon \cos \delta \sin \alpha.$$

Для Солнца $\cos \lambda = \cos \delta \cos \alpha$.

$$81. \cos \delta \cos \alpha = \cos \lambda, \quad \cos \delta \sin \alpha = \sin \lambda \cos \varepsilon, \quad \sin \delta = \sin \lambda \sin \varepsilon.$$

$$82. \cos \beta \cos \lambda = \cos \delta \cos \alpha, \quad \cos \beta \sin \lambda = n \cos (N - \varepsilon), \quad \sin \beta = n \sin (N - \varepsilon), \quad \text{где } n \sin N = \sin \delta \text{ и } n \cos N = \cos \delta \sin \alpha \quad (n > 0).$$

$$83. \cos x' \cos (y' - \theta') = \cos x \cos (y - \theta),$$

$$\cos x' \sin (y' - \theta) = -\sin x \sin i + \cos x \cos i \sin (y - \theta),$$

$$\sin x' = \sin x \cos i - \cos x \sin i \sin (y - \theta).$$

$$85. A = 279^\circ 28'; z = 68^\circ 46'. 86. z = 32^\circ 45', 0; A = 343^\circ 42', 9.$$

$$87. \alpha = 14^h 11^m 35^s; \delta = +19^\circ 38' 7''. 88. \lambda = 85^\circ 45', 0; \beta = +45^\circ 7', 8.$$

$$89. \lambda = 87^\circ 10'; \beta = -16^\circ 2'. 90. \delta = +17^\circ 11', 5. 91. \alpha = 4^h 38^m 5^s;$$

$$\delta = +22^\circ 8', 0. 92. \alpha = 2^h 44^m 24^s; \delta = +15^\circ 9'; \alpha = 9^h 43^m 36^s; \delta =$$

$$= +13^\circ 7'. 93. 281^\circ, 3; 102^\circ, 7. 94. \delta = 15^\circ 20', 3; A = 70^\circ 37', 5. 95. 4^h 10^m, 2.$$

$$96. \sin z \sin p = \cos \varphi \sin (s - \alpha),$$

$$\sin z \cos p = m \sin (M - \delta),$$

$$\cos z = m \cos (M - \delta),$$

где $m \sin M = \sin \varphi$ и $m \cos M = \cos \varphi \cos (s - \alpha)$ ($m > 0$).

97. Угол x между плоскостью горизонта и плоскостью эклиптики равен углу между зенитом и полюсом эклиптики, а следовательно, в сферическом треугольнике полюс — зенит — полюс эклиптики он измеряется стороной полюс эклиптики — зенит. Другие стороны равны ε и $90 - \varphi$, а угол против стороны x равен $90^\circ + s$. Применяя формулу для косинуса стороны, имеем:

$$\cos x = \cos \varepsilon \sin \varphi - \sin \varepsilon \cos \varphi \sin s.$$

Максимум при $s = 6^\circ$, минимум при $s = 18^\circ$. 98. Указанные формулы являются формулами преобразования пространственных координат в случае, когда ось Ox сохраняет свое направление, а оси Oy и Oz поворачиваются на угол ε . 99. Указанные формулы являются формулами преобразования пространственных координат в случае параллельного переноса осей на X_0, Y_0, Z_0 . Левые части суть прямоугольные экваториальные геоцентрические координаты.

К разделу IV. КУЛЬМИНАЦИИ СВЕТИЛ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ШИРОТЫ И КООРДИНАТ НЕБЕСНЫХ СВЕТИЛ

I

101. 0° , если $\delta < \varphi$, и 180° , если $\delta > \varphi$. 102. У кульминирующих к северу от зенита ($\delta > \varphi$). 104. 47° . 105. Высоты отличаются на 30° ; азимуты или равны, или отличаются на 180° , если $-(\varphi + 30^\circ) < \delta < -\varphi$ (этот случай соответствует некоторым невосходящим звездам). 107. $17^\circ 3'$; 108. $14^\circ 3'$; $4^\circ 34'$. 109. Всегда. 110. Не может нигде. 111. $51^\circ 2'$. 112. В Одессе и Тбилиси не всегда. В Москве и Киеве всегда. 113. Нет. 114. Начиная с широты 35° . 115. Нет. 116. 35° . 117. $35^\circ 25'$. 118. $-16^\circ 36'$. 119. $\delta = 90^\circ - \varphi$. 120. $\delta = \varphi$. 121. Чтобы $\delta > 90^\circ - \varphi$; чтобы $\delta < -(90^\circ - \varphi)$. 122. $55^\circ 45'; 50^\circ 27'; 41^\circ 43'$. 123. До $-30^\circ 3'$; до $-48^\circ 40'$. 124. Около 11 июня или около 3 июля. 125. С точностью до $8''$. 126. $41^\circ 43'$. 127. $44^\circ 06'$. 128. 60° . 129. Ближе к зениту; там ошибка в учете рефракции меньше и изображение звезды в трубе более спокойное. 130. Палка не была перпендикулярна к тени. 131. $24^\circ 2'$. 132. $40^\circ 20'$. 133. $+40^\circ 51' 13''$. 134. $+72^\circ 3'$. 135. Задача имеет два решения: 1) Звезда проходит через

верхнюю кульминацию к югу от зенита; тогда имеем два уравнения: $\delta = \varphi - 40^\circ$ и $\delta = 110^\circ - \varphi$, откуда получаем $\delta = 35^\circ$, $\varphi = 75^\circ$. 2) Звезда проходит через верхнюю кульминацию к северу от зенита; тогда имеем два уравнения: $\delta = 40^\circ + \varphi$ и $\delta = 110^\circ - \varphi$, откуда получаем $\delta = 75^\circ$, $\varphi = 35^\circ$. 136. $54^\circ 12'$. 137. На экваторе. 138. 4^h . 139. В $22^h 33^m 48^s$. 140. $8^h 48^m$. 141. Через $5^h 2^m$; через $18^h 58^m$ по звездным часам. 142. Приблизительно в $7^h 20^m$ вечера. 143. В $4^h 52^m$ утра. 144. Около $5\frac{1}{2}$ ч вечера. 145. Около 8^h вечера. 147. Те, у которых прямое восхождение около $18\frac{1}{2}$ часов, например α и ϵ Лиры. 149. В январе. 150. В начале года. 151. Около 22 августа. 152. В полночь. 153. Около 22 декабря; $\alpha = 5\frac{1}{2}$ ч. 154. $7^h 35^m$, $15^\circ 45'$ и $19^h 35^m$, $84^\circ 15'$. 155. $5^\circ 48'$; $10^h 59^m 37^s$. 156. $\alpha = 15^h 15^m 10^s$; $\delta = 46^\circ 35'$. 157. $\alpha = 7^h 35^m 48^s$; $\delta = 12^\circ 5'$. 158. $\alpha = 0^h 16^m 45^s$; $\delta = -0^\circ 6', 2$. 159. $\alpha = 19^h 9^m 13^s$; $\delta = -18^\circ 10' 18''$.

II

160. Максимум в восточной и западной части неба (в первом вертикале), минимум — в меридиане. 161. Быстрее всего в меридиане, медленнее всего на востоке и на западе (в первом вертикале). 162. Второе точнее. 163. См. ответ на задачи 160—161. 164. Экваториальная звезда (склонение равно нулю), наблюдаемая с экватора Земли. 165. Полагая $t = 0$, находим $z = \pm (\varphi - \delta)$. 166. $52^\circ 30'$. 167. $\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} \delta \frac{\sin t_1 + \sin t_2}{\sin (t_1 + t_2)}$. 168. См. книгу проф. С. А. Казакова «Курс сферической астрономии», изд. 2-е, 1940, стр. 93, формула (49).

К разделу V. РЕФРАКЦИЯ

II

170. На обе, за исключением часового угла и прямого восхождения в кульминациях. 171. На обе, и всегда. 172. $5^\circ 44' 11''$. 173. $+7^\circ 44' 28''$. 174. $83^\circ 3' 32''$. 175. $\varphi = 51^\circ 32' 09''$; $\delta = +74^\circ 34' 41''$. 176. За северным или за южным полярным кругом летом. Возможная ошибка могла бы достичь 8—9 км. 177. На 5 минут. 178. Можно, благодаря действию атмосферной рефракции. 179. Да, благодаря заметному различию рефракции для нижнего и верхнего края диска Солнца и Луны их диаметры кажутся укороченными в вертикальном направлении. 180. Нет, уменьшает. 181. Не меняется. 182. Нет, потому что для них различие в рефракции исчезающе мало.

183. Нет, так как рефракция не меняет азимутов светил. 184. $\delta = 74^\circ 34' 43''$; $\varphi = 40^\circ 22' 10''$. 185. $\alpha = 5^h 14^m 55^s$, $\delta = -9^\circ 22' 7''$. 186. На 3 суток. 187. $z = 53^\circ 49' 52''$, 3. 188. Решение: $z' = z + r$. По закону преломления

$$\frac{n}{1} = \frac{\sin z'}{\sin z} = \frac{\sin (z + r)}{\sin z}$$

$$n \sin z = \sin z \cos r + \cos z \sin r.$$

Так как r очень мало, то примем $\cos r = 1$ и $\sin r = r \sin 1''$. Тогда

$$(n - 1) \sin z = r \sin 1'' \cos z$$

и

$$r = \frac{n - 1}{\sin 1''} \operatorname{tg} z = 58'',3 \operatorname{tg} z.$$

К разделу VI. ВИДИМОЕ ДВИЖЕНИЕ СОЛНЦА

190. Примерно за 12 часов. 191. 90° и 0° ; 270° и 0° . 192. 180° и 188° , 280° . 194. 0^h и 0° ; 12^h и 0° . 195. 6^h , $+23^\circ 27'$; 18^h , $-23^\circ 27'$. 196. 90° и 0° ; 180° и 0° . 197. Около 22 числа каждого месяца. 198. $57^\circ 42'$. 199. $2^\circ 0'$. 200. $53^\circ 30'$; $72^\circ 07'$; 90° ; $46^\circ 54'$; $43^\circ 06'$; 0° . Тропик Рака; северный полярный круг. 202. $66^\circ 33'$. 203. На 2° . 204. $23^\circ 27'$. 205. $43^\circ 49'$, $22^\circ 44'$. 206. $36^\circ 10'$. 207. 3 мая или 11 августа. 208. 12^h ; 45° . 209. В полдень около 22 декабря. 210. Широта $+34^\circ 47'$, наклон $23^\circ 54'$. 211. α — когда Земля находится в перигелии (в начале января); δ — около моментов равноденствий. 212. Около 282° , около 101° . 213. Колеблется от 20 до 21 марта с четырехлетним периодом високосных лет; см. ответ к следующей задаче. 214. Эфемерида, вычисленная для полудня каждого дня одного года, не будет верна для другого года вследствие несовпадения тропического года с календарным. Наибольшего различия достигают эфемериды, вычисленные для високосного года, и года, предшествующего високосному. Ошибка может достигнуть $1 \frac{3}{4}$ суточного смещения Солнца, когда по григорианскому календарю пропускается високосный год (например, в 1900 г.). 215. В треугольнике, образованном экватором, эклиптической и кругом склонения Солнца, угол против стороны L прямой, и формула приобретает вид: $\cos L = \cos \alpha \cos \delta$. По теореме синусов: $\sin \delta = \sin \epsilon \sin L$. 216. Формула получается из ответа к задаче 81.

217. 19 июня $\alpha = 86^\circ,7$; $\delta = +23^\circ,4$ или

$$\lambda = 87^\circ,0; \beta = 0^\circ.$$

19 декабря $\alpha = 266^\circ,7$; $\delta = -23^\circ,4$

или

$$\lambda = 267^\circ,0; \beta = 0^\circ.$$

К разделу VII. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ И ДОЛГОТЫ

I

219. Солнечные сутки были бы короче звездных. 220. Безразлично. 221. $32^\circ 20' = 2^h 9^m 20^s$. 222. $0^h 39^m 12^s$. 223. $2^h 26^m 07^s$ к востоку от Гринвича. 224. $-2^h 42^m 50^s$. 225. $3^h 11^m$ Е. 226. $8^h 45^m$ Е. 227. $6^\circ 26'$. 228. $0^h 22^m$. 229. $2^h 14^m$ к востоку от Пулкова. 230. $9^h 18^m$ Е $231. 7^h 47^m$ Е. 232. $1^h 22^m$ Е. 233. 3 апреля в $0^h 3^m$, 3 апр. в $1^h 3^m$, 3 апр. в $0^h 11^m$. 234. $9^h 28^m$, 6 вечера, $22^\circ 13'$. 235. $\lambda = 2^h 57^m$ к западу от Гринвича,

$\varphi = 40^{\circ}27'$. 237. 1) Наблюдая какую-нибудь звезду на одинаковой высоте до и после верхней кульминации, установить полуденную линию и меридиан. 2) Отмечая прохождение звезд через меридиан, установить звездное время и поставить по нему хронометр. 3) Тут же, отсчитывая круг, по меридианным высотам установить широту. 4) Наблюдать моменты затмения спутников Юпитера по своему хронометру. Перевести звездное время в среднее и, сравнивая с таблицами, определить долготу. 238. 20 км на этой широте означает разность долгот $360^{\circ} \times \frac{20}{2\pi R \cos \varphi} = 0^{\circ},32 = 1^{\text{м}}17^{\text{с}}$ — это и есть

разница в моменте наступления полудня. 239. — $26^{\text{м}}35^{\text{с}},07$ и — $26^{\text{м}}34^{\text{с}},27$. 240. $9^{\text{ч}}16^{\text{м}}18^{\text{с}},2$. 241. $+6^{\text{м}}36^{\text{с}}$; $+5^{\text{м}}41^{\text{с}}$. 242. $+7^{\text{с}},4$. 243. — $2^{\text{м}}35^{\text{с}}$; — $2^{\text{м}}38^{\text{с}},5$; — $3^{\text{м}}03^{\text{с}}$. 244. Маятник делает на экваторе $n = 86\,400 \sqrt{g_0 : g} = 86\,247$ качаний в сутки, т. е. на 153 меньше, чем в Москве; часы отставали бы за сутки на $2^{\text{м}}33^{\text{с}}$. 245. На $1^{\text{м}}43^{\text{с}},5$. 246. $23^{\text{ч}}56^{\text{м}}4^{\text{с}},09$. 247. $15^{\text{ч}}9^{\text{м}}21^{\text{с}},4$. 250. $2^{\text{ч}}23^{\text{м}}48^{\text{с}},48$. 251. 1461. 252. 1 июля, $5^{\text{ч}}28^{\text{м}}$. 253. $14^{\text{ч}}32^{\text{м}}$ и $19^{\text{ч}}44^{\text{м}}$, считая первый раз от 23 марта, второй раз от 23 июня, когда звездное время в полночь около $18^{\text{ч}}$. 254. $3^{\text{ч}}0^{\text{м}}$. 255. $21^{\text{ч}}20^{\text{м}}$. 256. $13^{\text{ч}}10^{\text{м}}$. 257. $17^{\text{ч}}59^{\text{м}}34^{\text{с}}$. 258. $7^{\text{ч}}10^{\text{м}}30^{\text{с}}$. 259. $23^{\text{ч}}46^{\text{м}}23^{\text{с}}$ в Омске и $4^{\text{ч}}46^{\text{м}}23^{\text{с}}$ в Якутске. 263. В $11^{\text{ч}}44^{\text{м}}51^{\text{с}}$. 264. $4^{\text{ч}}6^{\text{м}}$; $11^{\text{ч}}37^{\text{м}}$. 265. $13^{\text{ч}}4^{\text{м}}15^{\text{с}},5$. 266. $3^{\text{ч}}23^{\text{м}}$. 267. Через $6^{\text{м}}$ после истинного полудня. 268. Часы впереди на $1^{\text{ч}}6^{\text{м}}$. 269. — $18^{\text{м}}44^{\text{с}}$. 270. $+16^{\text{с}}$; $10^{\text{ч}}57^{\text{м}}18^{\text{с}}$. 271. $+15^{\text{м}}$. 272. — $9^{\text{м}}$. 273. $32^{\text{м}}$. 274. Около $14^{\text{м}}48^{\text{м}}$. 275. Да. 276. Десяти, для команды судна, плавающего между Сибирью и Аляской в високосный год и покидающего Сибирь в воскресенье 1 февраля, причем один рейс должен занимать ровно неделю. 277. 18 суток. 278. В субботу 29 октября.

II

279. На $8^{\text{с}},18$. 280. $3^{\text{м}}3^{\text{с}}$. 281. 236 раз. 282. $+1^{\text{м}}6^{\text{с}}91$. 283. За $6^{\text{м}}6^{\text{с}}$. 284. Прямое восхождение среднего Солнца в полдень равно s . Прямое восхождение истинного Солнца в полдень равно $s + e$. Прямое восхождение истинного Солнца в момент t равно $\alpha + t = s + e$ или $s - \alpha + e - t = 0$. 285. $20^{\text{ч}}53^{\text{м}}57^{\text{с}},63$. 287. — $29^{\text{м}}$. 288. $12^{\text{ч}}4^{\text{м}}29^{\text{с}},51$. 289. — $1^{\text{м}}18^{\text{с}}$. 290. $+47^{\text{с}}$. 291. — $57^{\text{м}}29^{\text{с}}$; — $58^{\text{м}}48^{\text{с}}$; $+1^{\text{м}}12^{\text{с}}$. 292. — $35^{\text{с}}$; — $1^{\text{м}}36^{\text{с}}$. 293. На местное время — $57^{\text{м}}48^{\text{с}},3$. 294. 21 марта, $23^{\text{ч}}45^{\text{м}}$. 295. Потому, что уравниение времени в эти дни увеличивается быстрее, чем, вследствие изменения склонения Солнца, ускоряется его заход. 296. Увеличилась бы. Обратилась бы в нуль. 297. Значительно больше. 298. Необходимость в среднем времени на Марсе должна быть.

К разделу VIII. КАЛЕНДАРЬ

I

304. 352 дня. 305. Нет. 306. Потому, что в тропическом году не содержится целого числа суток. 307. 22 марта в $0^{\text{ч}}47^{\text{м}}$; 22 марта в $6^{\text{ч}}36^{\text{м}}$; 21 марта в $12^{\text{ч}}24^{\text{м}}$; 21 марта в $18^{\text{ч}}13^{\text{м}}$; 22 марта в $0^{\text{ч}}2^{\text{м}}$.

308. $5^h48^m46^s$ в год; на 15 апреля. Через 730 лет. 309. 27 февраля, 9 марта, 18 марта. 312. 16 марта 2445 г. 313. Через 10 400 лет. 314. 365,2425 суток; 0,0003 суток, или 26 секунд в год. 315. 43^m ; $3\frac{1}{2}$ ч; 7^h ; 22 марта, как и теперь. 316. Тогда в каждых 128 годах будет 31 високосный и 97 простых, и величина одного года будет равна 365,24219 средних суток. Это дает ошибку, равную одним суткам лишь в 10 000 лет, так как тропический год равен 365,24220 средних суток. 317. 0,013 суток за каждые 30 лет, или сутки за 3 тысячелетия. 318. Тогда в 33 годах будет 25 простых по 365 суток и 8 високосных по 366 суток. Средняя величина года поэтому равна 365,2424 средних суток, т. е. больше действительной только на 0,0002 средних суток, что составит одни сутки лишь в 5000 лет. 319. 19 лет = 235 месяцам. 320. 63-й год. 322. Был в 1880 г. 323. 1394 г. 324. В 22749 году.

К разделу IX. ВОСХОД И ЗАХОД СВЕТИЛ

I

326. Может. Не может. 330. В 10 часов вечера. 332. Для всех широт севернее 72° . 333. К югу от $48^\circ,5$. 334. $60^\circ,5$.

II

337. В Иркутске. 338. В Лондоне раньше. 339. В любом месте Земли часовой угол восхода и захода ее равен 18 часам и 6 часам, а азимут восхода и захода 270° и 90° , потому что звезда лежит почти на самом экваторе. 340. По формуле (2) введения к разделу IX находим часовые углы восхода и захода t :

$$\lg(-\operatorname{tg} \varphi) \quad 0,1669_n$$

$$\lg \operatorname{tg} \delta \quad \underline{9,6726}$$

$$\lg \cos t \quad 9,8395_n$$

$$t = \pm 133^\circ43', \text{ т. е. } t_B = 15^h5^m,1; t_3 = 8^h54^m,9.$$

Так как звездное время $s = t + \alpha$, то $s_B = 21^h44^m,8$; $s_3 = 15^h34^m,6$. Азимуты точек восхода и захода находим по формуле (4) введения к разделу:

$$\lg(-\sin \delta) \quad 9,6292_n$$

$$\partial \lg \cos \varphi \quad \underline{0,2496}$$

$$\lg \cos A \quad 9,8788_n$$

$$A \quad \pm 139^\circ9',$$

иначе говоря, $A_B = 220^\circ51'$, $A_3 = 139^\circ9'$.

341. Вычисляя, находим $\lg \cos t = 0,1387$ и $\lg \cos A = 0,0944$, что невозможно. Следовательно, в Пулкове Вега — незаходящая звезда. 342. 23^h54^m , т. е. 11^h54^m вечера. 343. Восход в $0^h56^m28^s$, заход в $14^h12^m30^s$; по среднему времени: $0^h11^m7^s$ и $13^h24^m59^s$. 344. $t =$

$= \pm 7^{\text{h}}27^{\text{m}}56^{\text{s}}$; $A = \pm 115^{\circ}2',7$; $14^{\text{h}}53^{\text{m}}$ среднего времени. Восход в $12^{\text{h}}50^{\text{m}}28^{\text{s}}$, заход в $3^{\text{h}}43^{\text{m}}53^{\text{s}}$. 345. $\delta = -18^{\circ}8$; $A = 55^{\circ},1$. 346. $\delta = -32^{\circ},5$; $4^{\text{h}}48^{\text{m}}$; $h = 5^{\circ},8$. 347. Угол ψ равен третьему углу в треугольнике полюс — зенит — светило (первые два: t и $180^{\circ} - A$), называемому параллактическим углом p . Применяя формулы сферической тригонометрии, получаем:

$$\cos \delta \cos \psi = \sin z \sin \varphi + \cos z \cos \varphi \cos A.$$

Но для восхода $z = 90^{\circ}$, так что требуемая формула выведена. 349. $\varphi = -64^{\circ}48'$. 350. Вычисление проводим по формуле (5) введения к разделу IX:

lg 0,0145	8,1703		
$\partial \lg \cos \varphi$	0,1680	lg tg φ	0,0337
$\partial \lg \cos \delta$	0,0287	lg tg δ	9,5755
lg I члена	8,3670	lg II члена	9,6092
	I член	0,0233	
	II член	0,4066	т. е.
	$\cos t$	$-0,4299$	$t = \pm 7^{\text{h}}41^{\text{m}},9$
	lg $\cos t$	9,6334	$t_{\text{B}} = 4^{\text{h}}18^{\text{m}},1$
	$t \pm 115^{\circ}28'$		$t_3 = 19^{\text{h}}41^{\text{m}},9$

Продолжительность дня $15^{\text{h}}24^{\text{m}}$. Среднее время восхода и захода равно часовому углу истинного Солнца плюс уравнение времени, т. е. восход $4^{\text{h}}14^{\text{m}},7$; заход $19^{\text{h}}38^{\text{m}},5$.

351. Самый короткий день в Ленинграде $5^{\text{h}}31^{\text{m}}$; в Душанбе $9^{\text{h}}18^{\text{m}}$. Сумма длин самого короткого и самого длинного дня равна 24^{h} . 353. $\varphi = 52^{\circ}30',2$. 354. Через $1^{\text{h}}12^{\text{m}}$, $1^{\text{h}}44^{\text{m}}$, $2^{\text{h}}33^{\text{m}}$. 355. $2^{\text{h}}30^{\text{m}}$. 356. $77^{\circ},7$. 357. $\cos A = -\frac{\sin \delta}{\cos \varphi} = -\frac{\sin \delta}{\sin \varepsilon}$. Для Солнца $\sin \delta = \sin \varepsilon \sin l$, следовательно, $\cos A = -\sin l$; обозначая через A_3 азимут точки захода, отсюда получаем: $A_3 = 90^{\circ} + l$ в период от 22 декабря до 22 июня и $A_3 = 270^{\circ} - l$ — в период от 22 июня до 22 декабря, т. е. абсолютная величина суточного изменения A_3 равна суточному изменению l . 358. На любых диаметрально противоположных точках земного шара. 359. На северном полярном круге плоскость эклиптики один раз в сутки (в 18 часов зв. времени) совпадает с плоскостью горизонта и, следовательно, Солнце в этот момент восходит или заходит. При возрастании долготы Солнца от 90° до 270° (что соответствует полугодию от 22 июня до 22 декабря) его азимут в 18 часов. зв. времени уменьшается с 180° до 0° : Солнце в этот момент заходит. В период с 22 декабря по 22 июня Солнце в 18 часов зв. времени восходит. Смена постоянства звездного времени восхода постоянством звездного времени захода происходит 22 июня, когда точки восхода и захода Солнца совпадают с точкой его нижней кульминации. 360. Пусть $t_{-90^{\circ}}$ и t_3 будут

часовые углы прохождения через азимут — 90° и захода. Тогда

$$\cos t_{-90^\circ} = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \varphi}; \quad \cos t_3 = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta.$$

При $\varphi = 45^\circ$: $\cos t_{-90^\circ} = -\cos t_3$, отсюда $t_3 - t_{-90^\circ} = 12^h$ независимо от δ . 361. Выражая dt в секундах времени, а dz — в секундах дуги,

$$dt = \frac{dz}{15 \cos \varphi \cos \delta \sin t}.$$

$$362. \cos z = \frac{\sin \delta}{\sin \varphi}; \quad \cos t = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \varphi}.$$

$$\begin{aligned} 363. \quad h &= 54^\circ 58'; & s &= 0^h 16^m,8 \text{ и } 17^h 2^m,2; \\ h &= 22^\circ 53'; & s &= 8^h 44^m,8 \text{ и } 18^h 58^m,0; \\ h &= 41^\circ 18'; & s &= 0^h 37^m,8 \text{ и } 9^h 7^m,2. \end{aligned}$$

К разделу X. ПРЕЦЕССИЯ

II

364. За 360 лет. 365. Нет, потому что солнцестояния теперь происходят уже не в этих созвездиях. 366. В созвездии Девы. 367. Чтобы Земля имела форму точного шара, или чтобы ее экватор, плоскость лунной орбиты и эклиптики совпадали. 368. Орион в верхней кульминации своим нижним краем будет касаться горизонта. Южная Корона будет подниматься над горизонтом почти также высоко, как теперь Орион.

371. Более быстрый в двух первых случаях; медленной в двух последних случаях. 373. Да, потому что при эллиптичности земной орбиты меняется расстояние от Солнца, на котором, например, в северном полушарии наступает лето.

$$\begin{aligned} 374. \quad \lambda &= 359^\circ 09' 22''; & \beta &= -17^\circ 35' 37''; \\ \lambda &= 357^\circ 54' 00''; & \beta &= -17^\circ 35' 37''; \\ \lambda &= 0^\circ 41' 28''; & \beta &= -17^\circ 35' 37''. \end{aligned}$$

375. Прямые восхождения непрерывно растут всюду, кроме круговой области с диаметром полюс мира — полюс эклиптики, где они убывают. Склонения растут или убывают в зависимости от прямого восхождения. 376. Для околополярных.

$$\begin{aligned} 377. \quad 22^h 4^m 56^s; & \quad +27^\circ 40',5; \\ 22^h 9^m 04^s; & \quad +28^\circ 6',9. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 378. \quad 10^h 58^m 17^s; & \quad -2^\circ 5',6; \\ 3^h 42^m 9^s; & \quad +23^\circ 44',1; \\ 22^h 26^m 34^s; & \quad +58^\circ 3',4; \\ 2^h 15^m 48^s; & \quad -3^\circ 17',7. \end{aligned}$$

380. Долгота перигелия увеличивается на $0^\circ,33$ в столетие.

К разделу XII. ДВИЖЕНИЕ ПЛАНЕТ

I

381. Около 6600 лет. 382. За $12\frac{1}{2}$ минут. 383. 0,7 года. 384. Нет. Да. Нет. 385. Нет. 386. Верхняя. 387. Марс противоположен Солнцу, т. е. в Весах. Венера примерно на 45° к востоку от Солнца, т. е. в Рыбах. 388. Весной, когда вечером на западе эклиптика образует с горизонтом наибольший угол. 389. Та, у которой след длиннее, ближе и к Земле, и к Солнцу. 390. На $\frac{360^\circ}{365,25} - \frac{360^\circ}{687} = 0^\circ,461$. 391. Нет. 392. 688 суток. 393. $\frac{3}{4}$, либо $1\frac{1}{2}$ года. 394. $\frac{4}{3}$, либо $\frac{4}{5}$ года. 395. 2 года. 396. 18 августа следующего года. 397. 1320 суток. 398. 12 сентября следующего года. 400. Сперва найдем сидерический период Меркурия, он равен 87,97 суток. Тогда среднее суточное движение Меркурия равно $4^\circ 5' 30''$. 401. Период этих явлений 780 суток, равный синодическому периоду Марса. 402. 41° . 403. Около $17'$. 404. Из соотношения $\sin x = \frac{1}{5,2}$ получаем $x = 11^\circ$. 405. Допустим, что происходит такое противостояние. Следующее из них произойдет в том же месте пространства через промежуток времени, заключающий целое число оборотов Земли (x) и целое число оборотов Марса (y). Следовательно,

$$\frac{x}{y} = 1,88 = \frac{47}{25} = 1 + \frac{1}{1} + \frac{1}{7} + \frac{1}{3+\dots}$$

Ограничиваясь первыми тремя звеньями, имеем $\frac{x}{y} = \frac{15}{8}$, т. е. великие противостояния происходят каждые 15 лет (через каждые 8 полных оборотов Марса). 406. Обозначим через x номер дня ближайшего противостояния Юпитера с Солнцем и составим уравнение, зная, что в момент противостояния разность гелиоцентрических долгот Земли и планеты равна 0° или 360° , вообще $2n \cdot 180^\circ$, где n — целое число. Средние суточные движения планет даны во введении к разделу. Тогда мы получим следующее уравнение: $(99^\circ 55' + 59'x) - (306^\circ 55' + 5'x) = 0$, которое после упрощения дает $54'x = 207^\circ$, или $x = \frac{207 \cdot 60}{54} \approx 230$. Таким образом, ближайшее противостояние Юпитера было через 230 суток после 1 января, т. е. 19 августа. 407. 31 января и 7 марта следующего года. 408. 21 ноября. 409. 12 сентября. 410. 29 января следующего года. 411. 1 мая Марс на несколько градусов севернее α Скорпиона, которая по яркости и красному цвету соперничает с Марсом и потому называется Антарес («Антарес» по гречески означает «против Марса»). Через два года 1 мая Марс в Стрельце, между звездами λ и μ . 412. В Стрельце около звезды μ . Видимость прекрасная — почти противостояние.

413. Да. 414. Наименьшая в соединениях и в противостояниях, наибольшая в квадратурах и в наибольших элонгациях. 415. В соединении — $48',16$ в сутки. В противостоянии — $21',52$ в сутки. 416. $53'',68$ в час или $21'28''$ в сутки. 417. Продолжительность прохождения равна $\frac{277}{723} \times \frac{1}{675} \times 584 = 0^d,332 = 7^h58^m$. Угловая видимая скорость равна $241''$ в час. 418. $R = \sin 47^\circ = 0,73$. 419. $0,39$ а. е. = $58 \cdot 10^6$ км. 420. Если обозначить расстояние от Юпитера до Солнца в астрономических единицах через x и угол при Солнце между радиусами-векторами Земли и Юпитера через t , то, очевидно, мы можем написать пропорцию:

$$\frac{x}{\sin \Delta l} = \frac{1}{\sin (180^\circ - \Delta l - t)},$$

откуда находим $x = 5$. 422. Тысяча лет. 423. $4,62$ года. 424. 4 а. е. 425. В $2,362$ раза. 426. 74 года; на расстояние $0,009$ астр. единицы. 427. $1,70$. 428. $0,63$ а. е. 429. $0,763$ и 1588 а. е. 430. $0,153$. 431. 11^h57^m ; 739^d . 432. 0° . 433. 4 а. е.

II

434. Это не могла быть планета. 435. Если ε — наклон эклиптики, а φ — широта, то наибольшее расстояние полюса эклиптики от зенита $90^\circ - \varphi + \varepsilon$. Синус наибольшей высоты Венеры будет поэтому $0,72 \cos (\varphi - \varepsilon)$, а время — весеннее равноденствие. 436. Как видно из формулы синодического движения, в пределе синодический период равен звездному году. 437. $\rho^2 = a^2 + 1 - 2a \cos \varphi$. 438. Около $1',5$ в сутки. 439. $\frac{P}{2\tau} - 1$, где 2τ — продолжительность попятного движения.

440. $\psi = 10^\circ,6$. 441. $\omega = 2\pi\alpha^{-3/2}$. 442. $v = 2\pi : \sqrt{a}$.

443. $33'',2$. 444. Обозначив неизвестное перигелийное расстояние кометы в миллионах километров через x , имеем $\frac{2^2}{1^2} = \frac{(x + 820)^3}{2^3 \cdot 150^3}$,

откуда получаем $x = -343$, т. е. невозможный ответ. Данные о комете, придуманные Жюль Верном, не согласованы друг с другом.

445. На $3T \frac{\Delta a}{2a}$, что получится дифференцированием формулы третьего закона Кеплера. 446. 10 и 190 а. е. 447. $222 \cdot 10^6$ и $102 \cdot 10^6$ км. 448. Решение. Прежде всего выбираем единицу масштаба. Примем расстояние от Земли до Солнца за 5 см. Окружность с радиусом 5 см (рис. 51) изобразит орбиту Земли, так как ее эксцентриситетом в этом масштабе поневоле приходится пренебречь. Из точки S , изображающей Солнце, произвольно проводим направление к точке весеннего равноденствия Υ . От направления $S\Upsilon$ против часовой стрелки отсчитываем угол $\Omega = 30^\circ$ и проводим пунктиром линию узлов NN' . Считаем для определенности SN' направлением на восходящий узел. От нее отсчитываем против часовой стрелки (так как $i < 90^\circ$, т. е. движение тела прямое) угол $\omega = 45^\circ$ и проводим пунктиром линию аписид KK' . Перигелий отстоит от Солн-

па на $a(1 - e) = 2 \cdot (1 - 0,8) = 0,4$ а. е. От S по направлению к K' откладываем расстояние $5 \cdot 0,4 = 2$ см, это и будет перигелий Π . Афелий отстоит от Солнца на $a(1 + e)$ или на 18 см в нашем масштабе. Он будет в точке A . В точке S' будет второй фокус эллипса. Воткнем в точки S и S' по булавке. На них накинem связанную концами нитку длиной $2a = 20$ см. Поставив острый карандаш так, чтобы он все время натягивал нитку, вычертим весь эллипс, представляющий нашу орбиту.

454. $E = 200^\circ 10', 2$. 456. $E = 99^\circ 33'$. 457. $E = 5^\circ 40', 3$. 458. По третьему закону Кеплера период $P = 4^{3/2} = 8$. Поэтому через год

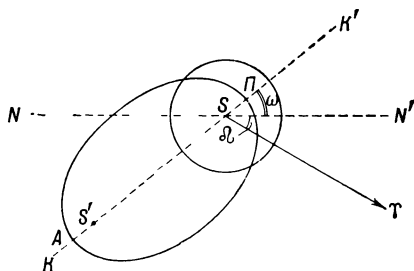


Рис. 51.

после перигелия средняя аномалия M будет 45° , и уравнение Кеплера для этого момента $45^\circ = E - 0,66144 \sin E$. Так как в таблицах дается синус, выраженный в радианах (или его логарифм), то надо этот член выразить в градусах, для чего его надо умножить на число градусов в радиане, т. е. на $57^\circ, 2958$, и тогда логарифм коэффициента при $\sin E$ будет 1,57861.

Итак, $45^\circ = E^\circ - [1,57861]^\circ \sin E$. Так как эксцентриситет велик, то приближенное значение E находим по рисунку 19: $E_1 = 82^\circ 30'$, и пробуем его подставлять в формулу:

$\lg \sin 82^\circ 30'$	9,99627
$\lg \text{коэфф.}$	1,57861
$\lg E^\circ$	1,57488
E°	37°,573
E_1°	82°,500
Разность	44°,927

вместо требуемых 45° . Очевидно, E надо слегка увеличить. Примем, например, $E_2 = 82^\circ, 58 = 82^\circ 34', 8$, что после подстановки в уравнение Кеплера удовлетворяет ему вполне (в пределах точности наших вычислений, т. е. пятизначных логарифмов). Если второе приближение не дало бы сразу правильное значение для E , то его следовало бы еще немного изменить раз или два, пока подстановка его в урав-

нение удовлетворила бы требованию, чтобы $E - e \sin E$ равнялось $45^{\circ},000$. v находим по формуле, дающей $\lg(v/2)$:

$\lg(1+e)$	0,22049
$\lg(1-e)$	9,52962
$\lg[(1+e):(1-e)]$	0,69087
$\lg \sqrt{(1+e):(1-e)}$	0,34543
$\lg \lg(E/2)$	9,94360
$\lg \lg(v/2)$	0,28903

$v/2 = 62^{\circ}47',8$, откуда $v = 125^{\circ}35',6$;

r находим по формуле

$r = a(1 - e \cos E)$.	
$\lg a$	0,60206
$\lg e$	9,82049
$\lg \cos 82^{\circ}34',8$	9,11106
$\lg ae \cos E$	9,53361
$ae \cos E = 0,3417$	
$a = 4,0000$	
$r = 3,6483$	

459. $E = 122^{\circ}06',2$; $v = 151^{\circ}57',7$; $r = 5,4061$. 460. $E = 152^{\circ}30',0$; $v = 167^{\circ}33',6$; $r = 6,3468$. 461. $v = 62^{\circ}54',7$; $\lg r = 0,4504$. 462. Приближенное значение E по графику $324^{\circ},25$. После приближений $E = 324^{\circ}16',5$; $v = 315^{\circ}1',4$; $r = 2,112$. 463. $\lg M = 1,7354$; $v = 61^{\circ}16',0$; $\lg r = 0,1747$. 464. $v = -109^{\circ}15',9$; $\lg r = 9,9940$.

465. Сентябрь	$\lg r$	$\lg \rho$	α	δ
1,5	0,3270	0,0492	$23^{\text{h}}15^{\text{m}}46^{\text{s}}$	$-4^{\circ}44',4$
5,5	0,3292	0,0521	23 13 29	$-5^{\circ}33',5$
9,5	0,3314	0,0564	23 11 11	$-6^{\circ}21',9$
466. Июнь	$\lg \rho$	α	δ	
23,5	9,4802	$5^{\text{h}}34^{\text{m}}48^{\text{s}}$	$+45^{\circ}3',1$	
24,5	9,4948	5 38 33	$+49^{\circ}21',0$	
25,5	9,5115	5 42 44	$+53^{\circ}18',6$	

К разделу XIII. ПАРАЛЛАКС И АБЕРРАЦИЯ

I

467. $8^{\text{m}}18^{\text{s}}$. 468. $2'',38$. 469. $23'',2$. 470. $46'',4$. 471. $0'',29$. Понятие годичного параллакса к планетам неприменимо. 472. $1'',47$. 473. 71800 км. 474. 12 600 км. 475. Расстояние 60,3; радиус 0,272; поверхность 0,0740 и объем 0,0201. 476. С точностью до 0,11% или 164 445 км. 477. В 109 раз; 1 391 000 км. 478. $0'',75$. Можно. 479. Практически несколько не изменится. 480. Первый вопрос не имеет

смысла, расстояние в парсеках равно $1 : 206\,265\,481.57' \sin z = 46', 7.482.49^\circ 17', 4.483.65^\circ 13' 20''$. 484. На $1/30$ параллакса в обоих случаях. 485. $\varphi > 16^\circ$, что находится из условия $\sin \varphi > \frac{16}{57}$. 486. Да,

так как чем ближе к нам Луна и чем, следовательно, больше ее параллакс, тем больше ее угловой диаметр. 487. $\frac{\sin \rho'}{\sin \rho} = \frac{\sin \rho'}{\sin \rho}$,

откуда $\rho' = 15' 45''$. 489. Около $0'',005$. 490. Можно, но точность результата будет обратно пропорциональна расстоянию планеты от Солнца. 491. 149,6 млн. км. 492. Параллакс около $8'',8$. 493. Наибольшая разность лучевых скоростей звезд наблюдаемых в моменты, разделенные промежутком времени в полгода (при условии, что наблюдения производятся в течение всего года), дает, очевидно, удвоенную орбитальную скорость Земли. 494. Если T — число секунд в году, то $R = 30 \frac{T}{2\pi}$ км. 495. По карте видно, что разность долгот

двух пунктов почти равна 180° , а разность широт почти 90° , т. е. базис можно считать равным диаметру Земли. По длине хорд, пройденных Венерой, находим $D = 46''$, откуда $\rho = 8'',8$.

496. Из наблюдений происхождения Меркурия по диску Солнца параллакс определялся бы по формуле $\rho = D \frac{92}{58} \frac{r}{d}$. Поэтому при вычислении параллакса Солнца ошибка в измерении D в случае обработки наблюдений Меркурия увеличивается в $\frac{92}{58}$ раза, а в случае обработки наблюдений Венеры уменьшается в $\frac{72}{28}$ раза.

497. Беря производную от обеих частей формулы, видим, что если ошибка $\frac{dM}{M} = 0,01$, то $\frac{dD}{D} = 0,003$, или $0,3\%$. 498. $ESM = \frac{FEM - MEN}{2} = 360^\circ \frac{0,6}{2 \cdot 29,5 \cdot 24} \approx 0^\circ,15$; $SE = ME$; $\sin 9' \approx$

$\approx 386 ME$. Аристарх нашел $SE = 19ME$. 499. Решение. Введем обозначение: $\frac{KD}{MK} = n$. Тогда из рис. 22 (стр. 105): $\frac{AD - GK}{GK - QM} = n$;

с другой стороны, если ρ — радиус Луны, то $AD = n\rho$. Следовательно, $(n\rho - GK) : (GK - QM) = n$. Отсюда $\rho + QM = GK \left(1 + \frac{1}{n}\right)$,

то есть (радиус Луны) + (радиус тени) = $\left(1 + \frac{1}{n}\right)$ (радиус Земли).

Из условия задачи следует, что (радиус тени) = $\frac{15'}{40'}$ (радиус Луны),

и, следовательно (радиус Луны) = $\frac{3}{11} \left(1 + \frac{1}{n}\right)$ (радиус Земли).

Но так как угловой радиус Луны равен $15'$, то расстояние ее в 220 раз больше ее радиуса. Следовательно, в радиусах Земли (расстояние Луны) = $60 \left(1 + \frac{1}{n}\right)$, или, так как по условию $\frac{1}{n} = \frac{1}{390}$, (расстояние Луны) = $60 \left(1 + \frac{1}{390}\right)$. Эту же задачу можно решить иначе.

Радиус земной «тени» β , равный $40'$, равен $P + \rho - S$, где ρ и P —

параллаксы Солнца и Луны, а S — угловой диаметр Луны и Солнца. Из условия: $\frac{P}{p} = n = 390$. Отсюда $P = \frac{(\beta + S) 390}{391}$, что дает параллакс Луны.

500. 1) По запаздыванию затмений спутников Юпитера; 2) по лучевым скоростям звезд; 3) по постоянной годичной аберрации.

II

501. Когда Земля движется прямо к звезде или прямо от нее. 502. $PR : RQ$ равно отношению скоростей Земли в перигелии и в афелии, а последнее (см. задачу 713) равно $(1 + e) : (1 - e)$. 503. Нет. 504. $0',32$. На полюсе суточная аберрация равна нулю. 506. Отношение наибольшей скорости вращения Земли к скорости света дает «постоянную суточную аберрации» $0'',32$. Для широты φ имеем очевидно, суточную аберрацию $0'',32 \cos \varphi$. Максимальное влияние суточной аберрации, целиком действующее в момент кульминации на прямое восхождение, увеличивает его на $\Delta\alpha = 0'',32 \cos \varphi \sec \delta$, где δ — склонение звезды.

К разделу XIV. ЗЕМЛЯ

II

507. Около 30 км. 508. Длина орбиты увеличилась бы на $6\frac{1}{4}$ м и год увеличился бы на $\frac{1}{5000}$ долю секунды, т. е. совершенно неощутимо. 510. Они были бы одинаково продолжительны. 511. Тогда расстояния Земли от Солнца в перигелии и афелии относились бы, как 1 : 3 и, вообще говоря, эта причина стала бы важнее, чем наклон земной оси. Зимы в северном полушарии стали бы очень короткими и теплыми, лето долгим, но более холодным. Смена дня и ночи летом и зимой осталась бы такой же, как теперь. 512. Везде и всегда день равнялся бы ночи, а смена времен года прекратилась бы. 513. При наклоне 45° . 514. Через 10 4000 лет 515. $\frac{2\pi R \cos \varphi}{24 \cdot 60 \cdot 60} = 232 \text{ м/сек}$. 516. а) 464 м/сек ; б) 308 м/сек . 517. 1) На широте φ , где $\cos \varphi = \frac{\cos 56^\circ}{2}$, т. е. $= 73^\circ,7$. 2) На широте $\varphi = 44^\circ,2$. 518. Быстрее. 519. Расстояние ее от оси равно $R \cos \varphi = 2$ световых года. В сутки она пробегала бы окружность $2\pi \cdot 2 = 13$ световых лет, или в час расстояние, которое свет проходит за $\frac{1}{2}$ года. Ее скорость была бы в 4320 раз больше скорости света. 520. На экваторе. 521. 22 мм. 522. $7^\circ,5$; 13° ; $10^\circ,6$; $14^\circ,5$; 15° ; 15° ; 0 . 523. Скорости кораблей относятся как радиусы параллелей, по которым они плывут, следовательно, скорость корабля x равна $15 \frac{\cos 48^\circ}{\cos 15^\circ} = 10,4$ узла. 524. Нет, потому что с него радиус кругозора 285 км. 525. 357 км. 526. 38 км. 527. 564 км. Около 5 км. 528. $57'$. 529. На 12 минут. 531. 1 морская миля равна 1,85 км. 532. $R = 6341 \text{ км}$. 533. 6336 км; 6374 км; 6414 км. 534. Накаплиются. Нет. 535. С точностью до нескольких сантиметров.

536. Полярный диаметр будет на 1 см короче. 537. Градусные измерения и определения силы тяжести. 538. Поезд, идущий на запад, так как его вес в меньшей степени облегчается центробежной силой, вызываемой круговым движением вокруг земной оси (он движется против вращения Земли). 539. $a = R \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 = 0,03391 \text{ м/сек}^2$.

540. $g = \pi^2 l = 9,781 \text{ м/сек}^2$. 541. $g = 9,809 \text{ м/сек}^2$; $l = g : \pi^2 = 993,85 \text{ мм}$. 543. Нагревание днем было бы больше; колебания температуры днем и ночью, летом и зимой больше. 544. То же, что в предыдущей задаче. 545. $1 : 0,9171 : 0,3987$. 546. $\frac{\cos(\varphi - 23\frac{1}{2}^\circ)}{\cos(\varphi + 23\frac{1}{2}^\circ)} = \frac{0,882}{0,259} = 3,4$. 547. 28,6; 2,5; 1,5; 1,0. 548. Влияние наклона лучей

больше влияния отношения расстояний до Солнца в $\frac{\cos(\varphi - \varepsilon)}{\cos(\varphi + \varepsilon)}$:

$\cdot \frac{(1 + e)^2}{(1 - e)^2} = 4,42 : 1,03 = 4,29$ раз. 549. 0° . 550. Годичная абберрация.

551. Так как видимые диаметры Солнца обратно пропорциональны расстояниям до него, то $e = \frac{P - q}{P + q} = 0,0168$. 552. Тем, что

благодаря эллиптичности земной орбиты и неравномерности ее движения в первом полугодии увеличение радиуса-вектора Земли за $\frac{1}{4}$ суток больше радиуса Земли, на который расстояние до Солнца меняется благодаря суточному вращению Земли. Во втором полугодии Земля, идя от афелия к перигелию, приближается к Солнцу и происходит явление, обратное описанному выше. 553. $\sin 23\frac{1}{2}^\circ : (\sin 66\frac{1}{2}^\circ - \sin 23\frac{1}{2}^\circ) : (1 - \sin 66\frac{1}{2}^\circ) = 0,40 : 0,52 : 0,08$. 554. Влияет. 555. Аномалистический год равен 365,2596 средних суток. Период обращения линии апсид 108 000 лет. 556. Радиус шара $r = \sqrt[3]{3m : 4\pi\delta} = 0,09267 \text{ м}$. Если m — масса шара, M — его момент инерции относительно оси вращения, l — приведенная длина маятника, то

$$M = \frac{2}{3} mr^2 + mK^2; l = M : Km = \left(\frac{2}{5} r^2 : K \right) + K;$$

отсюда видно, что центр качания ниже центра тяжести на $\frac{2}{5} r^2 : K =$

$= 0,0648 \text{ мм}$. 557. Длина дуги параллели $AB = (R \cos 60^\circ) \cdot 2\pi \frac{60}{360} =$

$= 3330 \text{ км}$. Дуге большого круга AB соответствует центральный угол $AOB = 2 (AOD)$. Угол AOD найдем из соотношения $\sin AOD =$

$= AD : AO = \frac{1}{2} AB : AO = \frac{R}{4} : R = 0,25$, откуда по таблицам

находим $AOD = 14^\circ 28',5$ и $AOB = 28^\circ 57'$. Следовательно, дуга

$AB = \frac{28^\circ 57'}{360^\circ} \cdot 2\pi R = 3210 \text{ км}$, т. е. на 120 км короче дуги парал-

лели проведенной между теми же точками. 558. Дуга большого круга $AB = 83^\circ 48',8$ или 9320 км. 559. На $\lambda = 23^\circ 54'$ под углом $72^\circ 24',7$. Длина пути 4559 км или 8,5 суток. 562. $1 : 295,9$. 563. Центробежное ускорение на широте φ равно $a = a_0 \cos \varphi$, где a_0 есть центробежное ускорение на экваторе. 565. Ускорение земного тяго-

тения на экваторе в 289,4 раза превышает ускорение центробежной силы; поэтому Земля должна была бы вращаться быстрее в $\sqrt{289,4} = 17,01$ раза. 566. Приблизительно $x = g \left(1 - \frac{2h}{R}\right)$. 567. С точ-

ностью до $\frac{1}{2} \cdot 10^{-7}$ доли самого ус-

корения. 569. Астрономическая широта по абсолютной величине всегда больше геоцентрической, за исключением полюса и экватора, где они совпадают. 570. Неодинаково; геоцентрические градусы длиннее у экватора. 571. *Решение.* Начертим треугольник, образуемый грузом отвеса M , концом вектора MP , изображающим приложенную к нему силу земной тяжести, и концом вектора MS , изображающим центробежную силу $m\omega^2 r$.

Из рисунка 52 мы видим, что

$$\frac{\sin MPS}{\sin \varphi} = \frac{MS}{MP} = \frac{\omega^2 R \cos \varphi}{g_0 \left(1 + \frac{\omega^2 R}{g_0} \sin^2 \varphi\right)},$$

так как

$$MP = g_\varphi = g_0 \left(1 + \frac{\omega^2 R}{g_0} \sin^2 \varphi\right),$$

где $g_0 = 978 \text{ см/сек}^2$ — ускорение силы тяжести на экваторе, φ — широта. Пренебрегая 2-м членом знаменателя и заменяя $\sin MPS$ дугой, которую обозначим через P , имеем $P = \frac{\omega^2 R \cos \varphi \sin \varphi}{g_0} = \frac{\omega^2 R \sin 2\varphi}{2g_0}$. Очевидно, максимум P будет при $\varphi = 45^\circ$. Подставляя числа, имеем максимум P 0,00173 или 6'. 572. $\angle OKC = \frac{180^\circ - \alpha}{2}$. Из треугольника KOC имеем

$$\sin OKC = \frac{R}{R + h}$$

или

$$h = R \frac{1 - \cos \frac{\alpha}{2}}{\cos \frac{\alpha}{2}},$$

откуда, зная $R = 6371 \text{ км}$, находим $h = 80 \text{ км}$. Этот слой атмосферы замечателен еще и во многих других отношениях. 573. Высота слоя 10 км — это примерно граница тропосферы и стратосферы.

574. *Решение.* С учетом отраженной энергии, на 1 см^2 сечения Земли падает $E' = 0,63 \cdot 1,94 \cdot q : 60 \text{ эрг/сек}$, а на все освещенное полушарие Земли $E' \pi R^2 \text{ эрг/сек}$. Она излучается обратно в пространство

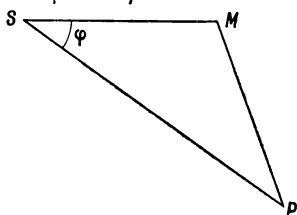


Рис. 52.

полностью всей поверхностью Земли, т. е. каждый квадратный сантиметр излучает в 1 секунду $E' \pi R^2 : 4 \pi R^2 = 0,25 E'$. С другой стороны, эта энергия равна σT^4 . Приравнявая обе величины и подставляя числа, находим $T = 247^\circ \text{ К} = -26^\circ \text{ С}$. Полученное различие объясняется несовершенством испускательной способности Земли и тем, что атмосфера задерживает излучаемые ею лучи (преимущественно тепловые).

К разделу XV. ДВИЖЕНИЕ И ФАЗЫ ЛУНЫ

I

575. $5 \frac{1}{2}$ суток. 578. Не может, так как между освещенными

Солнцем частями рогов Луны находятся неосвещенные части Луны. 579. Направлением от Солнца. 580. Потому, что прямая в пространстве линия, соединяющая серп Луны и Солнца, в проекции на небесную сферу является дугой большого круга. 581. Можно, в тропических странах. 582. Полноземелие; новоземелие; фазы Земли и Луны противоположны. 583. Фазы между полнолунием и последней четвертью. 585. $49^\circ 37'$; $62^\circ 50'$; $77^\circ 15'$. 587. От $241^\circ 25'$ до $298^\circ 35'$. 588. Потому, что Луна в это время бывает в том месте эклиптики, где Солнце — летом. 589. Ответ аналогичен ответу на задачу 588. 590. Около 6^ч вечера. 591. Около 6^ч вечера. 592. Первая четверть; полнолуние. 593. В полночь зимой; в 6^ч вечера весной; в 6^ч утра осенью; весной. 594. Зимой; летом. 595. Между полюсом и полярным кругом; зимой. 596. Не видна. 597. В июне в областях, близких к Северному полюсу Земли, и в декабре в областях, близких к Южному полюсу Земли. 598. Нет, потому что лунные сутки длиннее солнечных. 599. $24^{\text{ч}} 20^{\text{м}}, 34$. 601. $\frac{360^\circ}{13^\circ 10' 15''} = 27,3216$ суток. 602. 71,7932 суток. 603. В каждой точке Земли Луна занимала бы неизменное положение над горизонтом и на одном полушарии Земли была бы вечно невидимой. Во втором случае Луна восходила бы на западе и заходила на востоке. 604. $\frac{1}{P} = \frac{1}{S} + \frac{1}{T}$, где S — звездный месяц, а T — год. Синодический месяц был бы 25,42 суток.

II

605. Если Луна L видна в виде серпа, то угол α при Земле T между направлениями на нее и на Солнце S меньше 90° . Построив чертеж (рис. 53), видим, что искомая величина $x = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos \alpha = \sin^2 \frac{\alpha}{2}$, если диаметр Луны принять за 1. 606. Так как Луна шар, то истинный терминатор всегда окружность. В проекции для наблюдателя окружность превращается, как известно, в эллипс. 607. а) От 175° до 180° ; б) от 0° до 5° ; в) точно 90° . 608. Эллиптичность лунной орбиты и неравномерность движения по ней Луны. Максимум этого эффекта тогда, когда Солнце находится на линии,

проходящей через Луну и перпендикулярной к большой полуоси лунной орбиты. 609. В $9^{\text{ч}}37^{\text{м}}$. Если склонение Луны увеличивается, то восход произойдет раньше. 610. Луна должна быть одновременно в точке весеннего равноденствия, в восходящем узле своей орбиты и в апогее. При этих условиях ее суточное смещение по небесной сфере к востоку будет наименьшим, а следовательно, наименьшим будет различие в моментах ее двух последовательных восходов. 612. $90^\circ - (23^\circ27' + 5^\circ8') = 61^\circ25'$.

613. На широте в расстоянии около 5° от полярных кругов. Когда плоскость лунной орбиты, наклоненной на 5° к эклиптике, совпадает с горизонтом, звездное время восхода в смежные дни одно и то же. 615. Это произойдет через 9 лет вследствие движения узлов лунной орбиты. 616. Благодаря этому наклону верхний край Луны в перигее имеет широту, меняющуюся в пределах $\pm (5^\circ20'6'' + 16'46'')$, где второе слагаемое — наибольший радиус Луны. Максимальный горизонтальный параллакс увеличивает это расстояние еще на $61'48''$. Благодаря постоянному движению узлов лунной орбиты долгота Луны в этом положении бывает любой и, следовательно, внутри указанного пояса Луна может покрыть любую звезду. 617. Обозначим период обращения перигея через R , а звездный месяц — через S . Тогда $\frac{1}{P} = \frac{1}{S} - \frac{1}{R}$, откуда

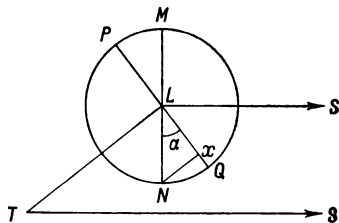


Рис. 53.

$P = 27,55$ суток. 618. $57'$ для каждой стороны Луны. 619. $\frac{1}{D} = \frac{1}{S} + \frac{1}{R}$, где R — период обращения узлов лунной орбиты.

$D = 27,21$ суток Драконический месяц короче звездного потому, что узлы лунной орбиты движутся к западу — навстречу движению Луны, а аномалистический месяц длиннее звездного, потому что линия апсид движется к востоку и Луне надо ее догнать.

К разделу XVI. ЗАТМЕНИЯ

I

623. Меньшая кривизна внутренней части серпа, быстрота изменения фазы, время наблюдения и буроватый цвет затмившейся части Луны. 624. Не может между полюсами и $\varphi = \pm 61^\circ$. 625. Это объясняется рефракцией в земной атмосфере. 626. Может. 627. $2^{\text{ч}}13^{\text{м}}$, 6 утра. 628. Может. Не может, потому что промежуток времени между эпохами затмений лишь немного короче полугода. 629. Луна в апогее. Правда, тогда Луна проходит через меньший поперечник конуса земной тени, но движется она по законам Кеплера медленнее и это перевешивает. 630. Может. Не может. 632. Может — в полярных областях. 633. Потому что пятна света в тени листы — это изображения Солнца, даваемые маленькими просветами среди листы подобно камере-обскуре. 634. Западный. 635. Не может. Может

636. В 5,4 раза. 638. Затмения происходили бы в одни и те же дни года, но далеко не каждый год. 639. Между тропиками затмения видны чаще. 641. В 1959 г. В 1923 г. 643. Могло вечером, вблизи земного экватора. 644. Да, севернее полярного круга, когда затмение происходит вблизи полуночи в течение полярного дня. 645. Потому что, если первое затмение некоторого цикла произошло 1 января, то, хотя на этот год в декабре придется 20 дней третьего цикла возможных затмений, в течение их может быть только одно новолуние (или одно полнолуние), также необходимое для затмения, а следующее новолуние (или полнолуние) придется на 1 или 2 января $\left(12 \frac{1}{2} \text{ синодических месяцев все же больше високосного года}\right)$.

$$646. \quad l = \Delta \frac{r}{R-r} = \frac{1}{108,5} \Delta = \frac{r}{\sin(S-p)}. \quad 647. \quad \text{а) } x = Lr : \\ : (R-r) = 219r, \text{ где } x - \text{длина конуса земной тени; б) } y = (x-l)r : \\ : \sqrt{x^2 - r^2} = 0,726r. \quad 648. \quad \text{Диаметр } x = \frac{bR - al}{R-l} \approx 140 \text{ км.}$$

Площадь теневого пятна $\frac{\pi x^2}{3} = 15\,400 \text{ км}^2$. 649. $x < 0$ (обозначения задачи 648). Невозможно. Затмение будет кольцеобразное. 650. Нет, потому что тогда наибольший видимый диаметр Луны, равный сейчас $33'32''$, станет на 10% меньше, т. е. будет $30'11''$, и уже не покроет наименьшего видимого диаметра Солнца ($31'32''$). Этот же результат можно получить, вычисляя длину конуса лунной тени и сравнивая ее с радиусом лунной орбиты. 651. $M'ES = P - p$. 652. $\sin \beta = \operatorname{tg} MEC \operatorname{ctg} i$. Около $17\frac{1}{2}^\circ$. 653. $MEN = P + p - S = 41'9''$, т. е. этот угол значительно меньше, чем аналогичный угол для солнечного затмения, и, следовательно, условия лунного затмения «жестче», они происходят реже солнечных. 654. Из сферического треугольника, образованного эклиптической, проекцией лунной орбиты на небесную сферу и кругом широты, проходящим через Луну, получаем

$$\sin A = \frac{\sin(MEN + r)}{\sin i} \approx 10\frac{1}{2}^\circ.$$

К разделу XVII. ТЯГОТЕНИЕ

I

655. Ускорение, сообщаемое Землей Луне, больше в 151 000 раз. 656. На линии центров, на расстоянии 4664 км от центра Земли. 657. Искомая точка находится на расстоянии от B , равном $r(\sqrt{mm'} - m')$: $(m - m')$. На расстоянии 6 земных радиусов от центра Луны. 658. Движение этой кометы можно сравнить с движением данного тела и написать по третьему закону Кеплера $\left(\frac{T}{2t}\right)^2 = \left(\frac{a}{a:2}\right)^2$, где T — период обращения данного тела в сутках.

Отсюда получаем $t = \frac{T}{4\sqrt{2}} = \frac{T}{5,65}$. 659. $64^{\text{д}}, 6$. 660. 4,8 суток.

661. За 44 года. 662. 17,1 массы Земли. 663. 14,7 массы Земли.

664. 0,10 массы Земли. 665. $\frac{1}{3\,050\,000}$ массы Солнца. 666. 317 масс Земли. 667. $m_1 = 0,0009$ масс Солнца, т. е. $\frac{1}{1100}$ (точное значение $\frac{1}{1047}$). 668. $\frac{M}{m} = \left(\frac{149\,500\,000}{384\,400}\right)^3 \cdot \left(\frac{27,3217}{365,256}\right)^2$, откуда $\lg \frac{M}{m} = 5,51740$ или $M = 329\,00\,m$. 669. Равенство центростремительного ускорения и ускорения силы тяжести дает $\omega^2 R = f \frac{M}{R^2}$, откуда $M = 1,9 \cdot 10^{33}$ г. 670. Ведет к уменьшению большой полуоси.

II

671. По третьему закону Кеплера $\frac{M' + m}{M + m} = \frac{(2r)^3}{T^2} : \frac{r^3}{T^2}$, где r — расстояние Луны от Земли, T — период обращения Луны, m — масса Луны, M — истинная масса Земли и M' — искомая масса Земли. Отсюда $M' = 8M$, если пренебречь массой Луны. 672. В 186,6 раза больше ее истинной массы. 673. При любом уменьшении, превышающем 50%, что получаем из формулы параболической скорости, приравнивая последнюю к наблюдаемой скорости Луны, принимаемой за круговую. 674. Она возросла бы в 10 раз, т. е. до 420,9 км/сек. 675. Нет, так как находим после расчета, что параболическая скорость на расстоянии Земли от Солнца в этом случае уменьшилась бы как раз до современной орбитальной скорости Земли. 676. Нет. 677. 7,91 км/сек. 678. $1^h 24^m, 7$. 679. 2,4 км/сек. 680. 617 км/сек. 681. 435,8 км/сек. 682. $2^h 47^m, 4$. 683. В четыре раза дольше, чем расстояние до Луны. 684. 17 000 км. 685. 4,8 км/сек. 686. $g_1 = p q g$. 687. 0,01. 688. 10 секунд. 689. Ускорение силы тяжести на поверхности Луны $g' = \frac{g \cdot 6370^2}{81 \cdot 1740^2} = 1,6231$ м/сек², $l' = g' : \pi^2 = 0,1645$ м, $t' = \sqrt{g : g'} = 2,458$ секунды. 690. Стой же самой скоростью, потому что масса снаряда на Луне не изменилась (изменился только его вес). 691. 364 см/сек². 692. Приблизительно 267 м/сек². 693. Увеличится вдвое. 694. $\frac{1}{1657}$ ускорения силы тяжести на Земле. 695. $g = g_0 \frac{m}{r^2} = 2,62 g_0$ или 26 м/сек². 696. $g = n R \cdot \left(\frac{2\pi n}{t}\right)^2 = 24,8$ м/сек². 697. Первое относится ко второму, как 46 000 : 1. 698. 50 000 км; $65 \cdot 10^{12}$ км³; 1,6 г/см³; 11,0 м/сек². 699. 981 см/сек² = $f \cdot 4r^3 \pi \cdot \delta : 3r^2$, откуда $f = 6,7 \cdot 10^{-8}$ см³ г⁻¹ сек⁻². 700. $k = \frac{2\pi a^{\frac{3}{2}}}{P \sqrt{M + m}} = 0,01720210$. 701. Все планеты разбежались бы, так как реальная скорость каждой из них как раз равна той, которая на соответствующем расстоянии при уменьшении массы Солнца стала бы параболической скоростью. 702. Она точас бы превратилась в вытянутый эллипс с афелием вблизи той точки пространства, где Земля была в момент воображаемого изменения массы

Солнца. 703. $x^2 : t^2 \frac{1049}{1048} = a^3 : a^3 = 1$. Отсюда получаем:

$$x = t \left(\frac{1049}{1048} \right)^{\frac{1}{2}} = t \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1048} + \dots \right); \quad x \approx t \left(1 + \frac{1}{2096} \right).$$

Так как $t = 4332,6$, то $(x - t) \approx \frac{4332,6}{2096} \approx 2,067$ суток. 704. На

$\frac{1}{660\,000}$ года, т. е. на 47,8 секунды. 705. Продолжительность суток

увеличится на величину $\frac{5}{3} \cdot \frac{m}{M} \cdot T = 0,0004$ секунды. 706. v будет

равна параболической скорости на расстоянии Земли, т. е. $v^0 \sqrt{2} = 42$ км/сек. 707. $v = 606$ км/сек. 708. Прямая линия. 709. Параболическая скорость на заданном расстоянии равна 49,7 км/сек. Очевидно, орбита — эллипс, и в задаче речь идет о Венере. 710. Скорость кометы равна параболической скорости на том же расстоянии от Солнца и поэтому орбита — парабола, а ее эксцентриситет равен 1. 711. $e = 0,99$; $a = 0,5025$; $T = 0,36$ года, $q = 0,005025$. 714. В перигелии линейная скорость втрое, а угловая в десять раз больше, чем в афелии. 715. В перигелии линейная скорость вдвое, а угловая вчетверо больше, чем в афелии. В перигелии линейная скорость в 7 раз, а угловая в 49 раз больше, чем в афелии. 716. 0,6. 717. Скорость на концах малой оси равна средней скорости. 718. У конца малой полуоси, потому что ее расстояние от фокуса эллипса (от Солнца) равно большой полуоси или среднему расстоянию, линейная же скорость зависит от расстояния до Солнца. 719. По закону площадей угловая скорость пропорциональна r^{-2} . На конце малой оси $r = a$, но a^{-2} не равно среднему из всех r^{-2} .

720. Решение. Скорость кометы в перигелии равна $\sqrt{2} \times$ скорость Земли по орбите. Таково же соотношение их секториальных скоростей. Секториальная скорость Земли, т. е. площадь, описываемая ее радиусом-вектором, равна π «квадратных астр. единиц» в год. Для кометы секториальная скорость равна тогда $\pi \sqrt{2}$. По свойству параболы $SQ = 2PS$ и площадь сектора SPQ равна $\frac{2}{3}$ площади прямоугольника $PRQS$, т. е. $\frac{4}{3}$ квадратной астр. единицы. Отсюда искомое время равно $4 : (3\pi \sqrt{2})$ лет, или приблизительно $\frac{3}{10}$ года (109,61 суток).

$$722. \quad M_1 M_2 = \frac{R_1}{R_2} d. \quad 723. \quad 384\,000 \text{ км.} \quad 724. \quad 7,9 \text{ км/сек.}$$

$$725. \quad v_0^2 = \frac{2gR(d-R)}{d} \cdot \frac{\sqrt{M/m}(d-R) - R}{\sqrt{M/m}(d-R) + R} = 2gR \left(-1 - \frac{1}{60} \right) \frac{1-a}{1+a},$$

где

$$a = \frac{1}{59\sqrt{80}}; \quad v_0 = 10,8 \text{ км/сек.}$$

726. Приняв $R = 150\,000\,000$ км и $S = 330\,000E$, находим

$$\frac{R\sqrt{Mm}}{M-m} = 262\,000 \text{ км}, \quad \frac{mR}{M-m} = 454 \text{ км.} \quad 727. \quad \frac{D_S}{A_S} = \frac{r^2(R+\rho)}{R^2} =$$

$$= 0,005, \quad \frac{D_S}{A_E} = \frac{Mr^3}{m} \frac{(R+\rho)}{R^2\rho^2} = 0,011.$$

$$728. \quad \frac{D_S}{D_E} = \frac{M}{m} \frac{r^2}{\rho^2} \frac{R^2 - \rho^2}{R^2 - r^2} = \frac{M}{m} \frac{r^3}{\rho^3} \frac{R+\rho}{R+r} = 0,0114.$$

$$730. \quad \frac{P_{\text{пол}}}{P_{\text{эвб}}} = 1 + \left(\frac{2\pi}{3600}\right)^2 \frac{R^3}{fM} + \left(\frac{2\pi}{3600}\right)^4 \frac{R^8}{f^2M^2} + \dots \quad 731. \text{ На } 37\%.$$

732. В $2\frac{1}{2}$ раза. 733. Наибольшая в январе — в перигелии. В июле, когда Земля находится в афелии, — наименьшая. Отношение этих сил равно 1,11.

К разделу XVIII. АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ

II

734. Изображение Луны стало бы несколько менее ярким, но вид ее не изменился бы. 735. Не увидит, потому что изображение пальца на таком расстоянии вообще нельзя получить в фокусе объектива. 736. $1'',5$; 12 зв. величина. 737. $0'',19$. 738. $0'',15$; 16,9 зв. величина. 739. Около 45 раз. 740. 1500 раз. 741. 250 раз. 742. 65 мм, 19,5 мм, 6,5 мм. 743. $x = 2F \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = 3,72$ мм. 744. 23 мм. 745. 166,35 см.

746. $2\frac{1}{4}$ мм. 747. 0,76 мм. 748. В 100 раз. 749. В 100 млн. раз. 750. В 630 раз. 751. 11,0 звездных величин. 752. 2,50. 753. На 1,11 зв. величины станет ярче. На 0,73 зв. величины ослабеет. 754. В 387 раз. 755. Амплитуда изменения блеска соответствует изменению поверхности, т. е. изменению квадрата радиуса, поскольку звезда — шар. Блеск меняется, следовательно, в 4 раза и амплитуда равна $2,5 \lg 4 = 1,5$ зв. величины. 756. 100. 757. 35. 758. 7. 759. В 1,8 раза. 760. Звезда приближается к нам со скоростью по лучу зрения 50 км/сек. 761. $n = 7 \cdot 10^{14}$ колебаний в секунду. 762. $3,16\text{Å}$. 763. $\lambda_2 = 665 \text{ мμ}$; $\lambda_1 = 383 \text{ мμ}$. 764. 700 км/сек. 766. 0,29 мм; 2,4μ. 771. В секундах дуги $d = 15 t \cos \delta$. 772. $(3^M 4^C) \cdot \cos 86^\circ 36',6 = 10^C,9 = 163'',5$. 773. Не зависит. 774. $16'',0$. 775. 5 секунд. 776. Изображение Луны станет лишь вдвое менее ярким. Дифракционные диски звезд и круги около них станут полукругами. 777. $d + 2b \operatorname{tg} \frac{1}{2} \alpha = 4,3$ см. 778. $\beta = 5^\circ 20'$, длина 168 см. 779. а) На расстоянии 45,07 см от вогнутого зеркала; б) изображение в вогнутом зеркале составляет 0,0012 предмета; в) лупа увеличивает это изображение в 9 раз. 780. $F = \frac{F_1 F_2}{F_1 + F_2}$.

781. Средний. 782. 13×18 см. 783. Первый для целей 1. 3. 6. Второй для целей 2, 4, 5. 784. Единица, так как поверхностная яркость не зависит от расстояния. 785. 13,2 в визуальных и 4,5 в фотографических. 786. 2,20. 787. 1,85. 788. 1,70. 789. На расстоянии

в 27 км. 790. $+0,8$; $-14,2$. 791. 9,68; 9,50; в среднем 9,59. 793. Оно укорачивается. 794. $-20,7$ км/сек. 795. Около 4 микрон. 796. -30 км/сек. 797. Красный конец направо. Верхняя звезда белее. 798. Это бальмеровская серия водорода. 802. $\delta = 1^{\circ}41'$. На фотографии спектра это займет около 17 мм. 803. Отклонение красных лучей $\delta_K = 38^{\circ}29'$, фиолетовых $\delta_F = 41^{\circ}46'$. 804. $\delta_F = 35^{\circ}39'$, дисперсия $1^{\circ}20'$. 805. $\gamma = 32^{\circ}$; $\delta_s = 8^{\circ}512$; $\delta_K = 8^{\circ},492$.

К разделу XIX. ЛУНА

I

806. Приблизительно $12\frac{1}{2}$ оборота. 807. 27,32 суток равны звездному месяцу. День и ночь равны половине синодического месяца, или 14,76 земных средних солнечных суток. 808. Для наблюдателя на Луне Земля не восходит и не заходит. 809. Земля там видна в зените и вследствие либраций несколько колеблется около этого положения. 810. Земля очень медленно то восходит, то заходит, описывая около горизонта сложные кривые на протяжении нескольких градусов вдоль и перпендикулярно к линии горизонта. 812. Можно, потому что, находясь в этот момент обычно ниже или выше Солнца, Земля теоретически представлялась бы крайне узким серпом, обращенным выпуклостью к Солнцу, и практически была бы видна на черном небе Луны. Солнце подошло бы к Земле и ее миновало, а серп Земли перекатывался бы постепенно в это время с одной стороны на другую. 813. В 80 раз сильнее лунного. 814. В 480 тысяч раз. 815. Наличие теней, отбрасываемых неровностями лунной почвы при косом освещении Солнцем. 816. Нет. С Луны видна атмосфера, окружающая Солнце и видимая с Земли лишь во время полных затмений Солнца. 817. Нет. 818. Нельзя, потому что полярные сияния — это электрическое свечение атмосферы, которой на Луне нет. 819. Сила тяжести на Луне равна 0,16 земной силы тяжести. 820. На 3 м. 821. 9,6 кг; 60 кг, если гири сделаны были на Земле. 822. 75 км.

II

823. 750 м. 824. По измерению длины тени линейкой она равна $l = 24'',8 = 46,3$ км (с учетом перспективного сокращения, равного $\frac{12}{15}$); $H = l \operatorname{tg} h = 578$ м. 825. Зная масштаб фотографии, находим AK в секундах дуги, а затем в км. Если O — центр Луны, то $OK = R + h$, где R — радиус Луны, а h — высота горы. Из треугольника AKO $(R + h)^2 = R^2 + (AK)^2$. Отсюда $h = 0'',7$ или 1,3 км. 826. При данных условиях находим, что средняя квадратическая скорость молекул водорода $2,2$ км/сек, т. е. подавляющее число молекул имеет скорость больше параболической и покинет Луну.

К разделу XX. ПЛАНЕТЫ

I

828. $4'',2$. 829. $34'',6$; $59'',5$; $62'',8$; $17'',0$. 831. $\frac{17,75}{8,80} \cdot 5,431 = 10,95$. 832. 6800 км. 833. 42 000 000 км. 834. На 41° ; на 2° . 835. 54 км. 839. В 90 раз. 840. $6,25 : 2,04 : 1 : 0,44 : 0,037$. 841. $1'$; в 900 раз.

842. $0,84 \text{ кал/см}^2$ в минуту. 843. На $1/5000$ долю, или приблизительно на такую же долю звездной величины. 844.—19,3 зв. величины т. е. в $12 \cdot 10^6$ раз ярче Сириуса. 845. В 58 раз. 846. Приблизительно в $2^2 \times \left(\frac{9,2}{4,2}\right)^2$, т. е. в 19 раз. 847. Потому что Венера имеет фазу; однако во время верхнего соединения Венера для Земли ярче, чем Земля для Венеры, оттого, что расстояния между планетами равны, но Венера ближе к Солнцу. 848. У Юпитера больше. 849. Усилилось бы во столько раз, во сколько увеличилась бы поверхность, отражающая свет Солнца.

II

850. См. ответ к задаче 606. 851. В квадратурах, когда Земля выглядит, как Луна в первой или в последней четверти. 852. Из треугольника STP $\sin P = \frac{ST}{SP} \cdot \sin T$. Наибольшее значение P имеет при $T = 90^\circ$, т. е. в квадратуре. Для Марса $P = 41^\circ 1'$, для Юпитера $P = 11^\circ 5'$, для Сатурна $P = 6^\circ 1'$. 853. 108 540 км. 854. $\frac{1}{15,6}$.

855. R^2 , потому что площадь части неба, занимаемой Солнцем, если его рассматривать из некоторой точки, изменяется приблизительно $-\frac{1}{2}$.

пропорционально $R^{-\frac{1}{2}}$. 856. $+172^\circ \text{ С}$. Эту величину найдем, приравняв излучаемую таким шаром энергию, $4\pi a^2 \sigma T^4$, энергии, поглощаемой им от Солнца, $b\pi a^2$, где a — радиус шара, а b — солнечная постоянная для Меркурия. 858. Дело сводится к тому, что положение видимого центра планеты меняется благодаря суточному параллаксу и на такую величину, т. е. в большинстве случаев на доли секунды дуги, тогда как планетоцентрические координаты деталей на планете вообще определяются с точностью менее 1° . Итак, это влияние практически неощутимо. 860. На $0^\circ 92$. 861. На 387 км/час . 862. На расстоянии 110 м. 863.—1,16. 864. $m = m_0 - 5 \lg(a^2 - a) + 5 \lg(p_r)$. 865. 14,4. 866. Синодический период обращения $5\frac{1}{2}$ земных суток. 867. В 82 раза ($42\frac{1}{2}^\circ$). 868. В 23 раза. Блеск меняется в $2\frac{1}{2}$ раза, или на 1 зв. величину. 869. В марсианских сутках период обращения Фобоса равен $7^{\text{ч}} 39^{\text{м}} \frac{24}{24,6} = 7^{\text{ч}} 5$. Суточное движение

Фобоса среди звезд

$$\frac{360^\circ}{7,5 : 24} = 1151^\circ.$$

Отсюда промежуток между кульминациями x найдется из пропорции

$$\frac{360^\circ - 1151^\circ}{360} = \frac{24^{\text{ч}}}{x};$$

$x = 10^{\text{ч}} 55^{\text{м}}$. 870. На восточном краю. 871. Тени следуют за спутниками. 872. Спутник движется медленно относительно горизонта, но быстро среди звезд. 873. I и III в затмении, II проходит перед диском либо наоборот. 874. Угловая скорость вращения ω постоянна, а $v = \omega r$. Поэтому доплеровское смещение пропорционально расстоянию от центра диска.

К разделу XXI. КОМЕТЫ

I

875. По ее перемещению относительно звезд, заметному за несколько часов или даже за несколько десятков минут. 876. Наблюдение, что они участвуют в суточном вращении небесной сферы, и измерение их параллакса. 877. Точно нельзя, потому что хвост постепенно сходит на нет. 879. Не может, потому что газ, выделяющийся из ее ядра при нагревании, когда она приближается к Солнцу, постепенно иссякает. 880. 18,5 млн. лет. 881. 0,34 и 4,10 а.е. 882. Тем, что либо по какой-то причине самосвечение кометы ослабело, либо тем, что отражающая солнечный свет поверхность кометы уменьшилась, либо совместным действием обеих причин. 883. Это были появления кометы Неуймина. Ее период обращения 5 лет 5 месяцев.

II

884. Нет, благодаря возмущениям со стороны планет. 885. При эксцентриситетах, близких к 1, эллипсы, почти совпадающие вблизи фокуса, имеют весьма различные большие полуоси. 886. 19,6 астр. единицы. 887. $a = 84$ астр. единицы; $e = 0,999907$. В перигелии скорость 476 км/сек, в афелии 22 м/сек. 888. Период 13,7 года; $a = 5,72$ а.е. Это периодическая комета Туттля. 889. Может только та, у которой перигелийное расстояние меньше 1. 890. От истинной величины хвоста, которая сама зависит от расстояния кометы от Солнца, от угла между плоскостью орбиты кометы и лучом зрения наблюдателя и от расстояния кометы от Земли. 891. Из уравнения большой полуоси следует:

$$a = \frac{r}{2} \left(\frac{u^2}{u^2 - v^2} \right),$$

где u — параболическая скорость на расстоянии r , v — действительная скорость. Очевидно, при v , близком к u , малейшее изменение v вызывает громадное изменение в a . 892. Около 0,13 км/сек.

893. Для этого компонента $a = (769)^{\frac{2}{3}} = 83,9$ а.е. по уравнению живых сил (уравнению орбитальной скорости)

$$v^2 = (29,76)^2 \cdot \left(\frac{2}{0,00775} - \frac{1}{83,9} \right),$$

откуда получаем $v = 29,76 \sqrt{257,99} = 477$ км/сек. 894. Для этого

компонента $a = (875)^{\frac{2}{3}} = 91,4$. Если скорости первого и второго компонентов обозначить через v_1 и v_2 , то

$$v_2^2 - v_1^2 = (29,76)^2 \cdot \left(\frac{1}{83,9} - \frac{1}{91,4} \right) = 0,86$$

или

$$(v_1 + v_2)(v_2 - v_1) = 0,86; \quad v_1 + v_2 = 954;$$

$$v_2 - v_1 = 0,0009 \text{ км/сек} = 90 \text{ см/сек.}$$

895. От афелия к перигелию расстояние между частицами будет расти, и обратно. 896. С удалением от Солнца размеры кометы увеличивались бы. 897. Может. 898. Прямая линия. Движение по инерции. 899. Гипербола, обращенная выпуклостью к Солнцу и имеющая его в своем внешнем фокусе. 900. Почти прямая линия, направленная по радиусу-вектору кометы от Солнца. 901. Орбита с эксцентриситетом, слегка большим, чем у орбиты самой кометы. 902. Одна из точек проекции радиуса-вектора (все они должны лежать на прямой) $\alpha = 21^{\circ}50'$, $\delta = 9^{\circ}14'$. Верхний хвост I типа, средний II типа и нижний III типа. 903. В 64 раза. 904. В 64 раза, т. е. на 4,5 зв. величины. 905. 7,7 зв. величины. 906. Никакой, так как это наблюдавшееся изменение блеска обнаруживает закон обратной пропорциональности квадрата расстояния от Солнца, а это и есть закон изменения отраженного света. 907. Потому что их блеск зависит от их расстояния до Солнца. 908. Масса глыбы

$$m = \frac{4}{3} \pi R^3 \delta \approx 1,35 \cdot 10^{12} \text{ г.}$$

Параболическая скорость

$$v_0 = \sqrt{\frac{f m^2}{r}} = 4,2 \text{ см/сек.}$$

Средняя квадратическая скорость молекул при данных условиях

$$v = 111,4 \sqrt{\frac{T}{D}},$$

где $T = 273 + 200$, D (молекулярный вес циана) равен $12 + 14 = 26$; $v = 475 \text{ м/сек}$, т. е. во много раз больше параболической, и молекулы мгновенно покинут ядро кометы. 909. Под действием солнечного прилива скопление метеоритных глыб станет рассыпаться. 910. 46,8 км/сек.

К разделу XXII. МЕТЕОРЫ И МЕТЕОРИТЫ

I

912. С Луны это будет совершенно незаметно. 913. Под утро. 914. 10,34 а.е. 915. Его ширина не менее длины пути, пройденного за это время Землей, т. е. $30 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 37 \text{ км} \approx 9,6 \cdot 10^7 \text{ км}$. 917. На неполную параллельность их путей в атмосфере. 919. 2,2 м. 920. Тем, что вдоль этой линии плотность населения выше. 921. Летящий вслед за Землей упадет на нее как тело, лишенное опоры, а встречный метеорит минует Землю. 922. $1,8 \cdot 10^5$ килограммометров. 923. 11 м/сек и 355 м/сек. 924. Около 9 см и 85 см.

II

925. 34°. 927. Не останется благодаря приливному воздействию Солнца. Рой после каждого приближения к Солнцу будет становиться все рассеянее. 928. Кольцо. 929. 12,3 км/сек и 71,9 км/сек. 930. Тем, что на утреннюю сторону земного шара падают как те метеоры, ко-

которые летят ей навстречу, так и те, которые она нагоняет. На вечернюю же сторону Земли падают только те метеоры, которые нагоняют Землю. 931. Потому, что две встречи в год могут быть лишь у тех потоков, которые движутся почти в точности в плоскости эклиптики, а таких исключительных потоков почти не существует. Другое условие для двух встреч также резко осуществляется — расстояние перигелия от узла должно составлять 90° . 932. На рисунке 54 O — наблюдатель, OA — направление к радианту, параллельное скорости метеора $v = ML$. Из тр-ка

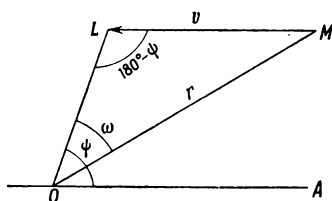


Рис. 54.

то $v = \frac{r}{\sin \psi} \omega$. 933. 8300. 934. Около 1 300 000. 935. Около 110 км. 936. Около 250. 937. 78 700 000. 938. 100 км. 939. $a = 259^\circ$; $b = 150$ км; $H = 105$ км (среднее). 941. Из созвездия Дракона, недалеко от звезды ϕ . 942. Около 10^{-16} . 943. $\frac{10^9}{1,8 \cdot 10^{12}}$ или $\frac{1}{18\,000}$.

Остальное идет на нагревание воздуха, его ионизацию, диссоциацию, на образование воздушных волн и т. д. 944. Среднее из высот, найденных по формуле $H = d \operatorname{tg} h$, равно 8,6 км.

К разделу XXIII. СОЛНЦЕ

I

945. Радиус — 109 радиусов Земли, поверхность — 11 900 поверхностей Земли, объем — 1 300 000 объемов Земли. 946. 0,625 года. 947. В 1950 г. много, в 1954 г. мало. 949. $17'',6$ — удвоенному параллаксу Солнца. 950. В 7 раз больше диаметра Земли. 951. 500 км. 953. Потому, что с 1933 г. число солнечных пятен, вызывающих полярные сияния, все время росло. 955. Удаление со скоростью 137 км/сек. 956. На 2,22 Å. 957. Звездой +0,6 зв. величины. 958. 38 г. 959. 13,6 кг. 960. Около 25 т.

II

961. $\beta = 82^\circ 49',5$; $\lambda = 343^\circ 47'$. 962. 30,43 суток. 966. Около 9 м/сек. 967. На экваторе 25,05 суток, на широте 30° — 26,34 суток, на широте 45° — 27,75 суток. 968. 510 дней, т. е. гораздо дольше продолжительности «жизни» солнечного пятна. 969. $bc = ac \operatorname{ctg} A O a' = 8900$ км. 971. $(r + h)^2 = \left(\frac{AB}{2}\right)^2 + (SE)^2$, где $(SE) = (LE) - (LS)$; $(LS) = R - r$; $(LE)^2 = R^2 - \left(\frac{AB}{2}\right)^2$. 972. $3,02 \cdot 10^{27}$; 50 000 свечей. 973. $3,79 \cdot 10^{28}$ люменов; 624 000 ламбертов. 974. 13,5 ламберта. 975. 100 люменов или 8 свечей на ватт. 976. $5,18 \cdot 10^{23}$. 977. 15,8 мм. 978. Около минуты. 979. Около двадцати миллионов рублей. 980. 6 130° . 981. Беря отношение энергии в двух участках

спектра и логарифмируя, находим отсюда T по формуле:

$$T = \frac{c_2 \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right) \lg e}{\lg E_1 - \lg E_2 + 5 (\lg \lambda_1 - \lg \lambda_2)} = 6760^\circ.$$

982. $cV dT = I p dt - jP (t_1 - t_2) dt$. 983. Решение. Полное излучение Солнца равно $\frac{4\pi R^2 ac}{60}$ эрг/сек. Следовательно, излучение единицы

поверхности Солнца в секунду $\frac{4\pi R^2 ac}{60 \cdot 4\pi \cdot r^2} = \sigma T^4$, откуда $T = 5750^\circ$.

984. Решение. Беря от выражения закона Стефана — Больцмана логарифмическую производную, имеем $\frac{dT}{T} = \frac{1}{4} \frac{dE}{E}$, откуда ис-

комое $dT = 1/4\%$ от 6000° или 15° . 985. Одна из причин та, что спектр Солнца не вполне совпадает со спектром абсолютно черного тела. Другая причина та, что разные методы, строго говоря, дают температуру различных частей солнечной атмосферы. 986. $\frac{5750^\circ}{\sqrt{2}} =$

$= 4835^\circ \text{ К}$. 987. Через 2000 лет. 988. Для шара массы M и радиуса R эта энергия $W = \frac{3}{5} k^2 \frac{M^2}{R} = 2,27 \cdot 10^{43}$ эргов. 989. $5 \cdot 10^{24}$ г.

990. $1,3 \cdot 10^{20}$ г $= 1,3 \cdot 10^{14}$ т. 991. $3 \cdot 10^{10}$ лет.

К разделу XXIV. ДВИЖЕНИЯ И ПРИРОДА ЗВЕЗД

992. Около 46 млн. лет. 993. Около 9 800 лет. 994. 8,8 светового года. 995. 2,7 парсека $= 8,8$ светового года $= 558\,000$ астр. единиц $= 8,3 \cdot 10^{13}$ км; 50 парсек $= 163$ световых года. 996. 5 парсек $= 16,3$ светового года $= 1,03 \cdot 10^6$ а.е. $= 15,4 \cdot 10^{13}$ км; 8,3 парсека $= 27,2$ светового года $= 1,7 \cdot 10^6$ а.е. $= 2,56 \cdot 10^{14}$ км. 997. Параллакс заключается в пределах от $0'',306$ до $0'',318$, а следовательно, расстояние в пределах от 3,26 до 3,14 парсека, т. е. известно с точностью до нескольких процентов. 998. С учетом возможной погрешности параллакса последний заключается в пределах от $0'',012$ до $0''$, т. е. расстояние звезды заключено в пределах от 83 парсеков до бесконечности, т. е. можно лишь сказать, что расстояние звезды от нас не меньше 80 парсеков. 999. Сириус в 10 200 раз ярче своего спутника. 1000. +1,27. 1001. —4,0. 1002. В 10 500 раз. 1003. S Золотой Рыбы ярче в 500 000 раз. 1004. В 14 000 раз. 1005. 11,6 и 13,4. 1006. 0,0020 и 0,00038. 1007. Видимая звездная величина Веги стала бы равна 15,1. 1008. 4,1 а.е. 1009. Увеличиваются в области созвездий Лиры и Геркулеса и уменьшаются в противоположной части неба

1012. $y = \left(1 - \frac{1}{\sqrt{n}} \right) \frac{a \cdot c}{V_r}$ лет. 1013. Около 8000 лет. 1014. Через

97 000 лет. 1015. В том и в другом (через полгода) случаях скорости Земли будут противоположны относительно звезды. Разность наблюдаемых лучевых скоростей звезды будет равна удвоенной проекции скорости Земли на луч зрения, направленный к звезде в один из приведенных моментов, следовательно, эта разность может ме-

няться от 0 до ± 60 км/сек, в зависимости от долготы звезды. 1016. Поправка эта всегда равна нулю, так как в любой момент скорость Земли по орбите перпендикулярна к лучевой скорости звезды (к лучу зрения, соединяющему звезду с наблюдателем).

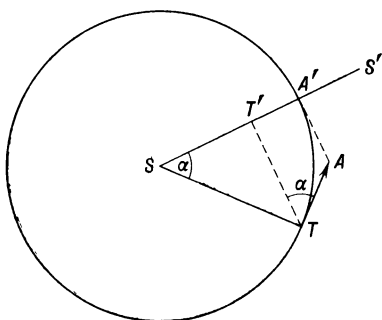


Рис. 55.

1017. Пусть на рисунке 55 S — Солнце, S' — звезда, T — Земля, TA — скорость Земли, а $T'A'$ — ее проекция на луч зрения. Поправка за скорость Земли $T'A'$ равна $TA \sin \alpha$, где $\alpha = \frac{360^\circ}{365^{1/4}} t$, а

t — время, прошедшее от момента весеннего равноденствия до момента наблюдения, выраженное в сутках. Поскольку при $\alpha < 90^\circ$ скорость Земли направлена к звезде, делая наблюдаемую скорость ее по отношению к Солнцу большей в случае приближения зве-

зды, поправка будет иметь вид $\Delta V = 29,8 \sin \frac{360^\circ}{365,25} t$. 1018. Да, на-

блюдая систематическое изменение их параллаксов. 1019. $1'',01$; 142° . 1020. $0'',55$; 74° . 1021. $-1'',20$. 1022. $+1'',25$; $-0^\circ,0,7$. 1023. 90 км/сек. 1024. 17 км/сек. 1025. 19 км/сек. 1026. 57 км/сек. 1027. 18 км/сек. 114° . 1028. 46° . 1029. 25 км/сек, под углом 31° . 1030. 16 км/сек. 1031. $+18$ и 14 км/сек. 1032. $0'',44$.

1033. Решение: $OM = OS \sin \vartheta = \frac{206\,265}{\pi'} \text{ а. е.}$, $OS = \frac{206\,265}{\pi} \text{ а. е.}$

Следовательно, $\pi' = \frac{\pi}{\sin \vartheta}$. Если M — абсолютная величина

звезды, то $M = m + 5 + 5 \lg \pi$ и $M = m' + 5 + 5 \lg \pi'$, откуда получаем $m' = m + 5 \lg \pi - 5 \lg \pi' = m + 5 \lg \sin \vartheta$. В точке M $V_r = 0$, $V_t = V = \frac{4,74\mu'}{\pi'}$, откуда получаем $\mu' = \frac{V\pi'}{4,74} = \left(\frac{1}{4,74}\right) \times$

$\times \left(\frac{V_t}{\sin \vartheta}\right) \left(\frac{\pi}{\sin \vartheta}\right) = \frac{\mu}{\sin^2 \vartheta}$. Скорость вдоль MS равна $V : 4,74$

астр. единицы в год. Следовательно, время t , потребное на прохождение пути MS , $t = \frac{4,74 MS}{V} = \frac{4,74 \cdot 206\,265 \cos \vartheta}{\pi V}$, и так как

$V = V_t : \sin \vartheta = 4,74\mu : \pi \sin \vartheta$, то

$$t = \frac{206\,265}{\mu} \sin \vartheta \cos \vartheta = \frac{206\,265}{\mu} \frac{V_r V_t}{V_r^2 + V_t^2}.$$

Если V_r отрицательна, то t тоже отрицательно и означает, что наибольшее приближение звезды к Солнцу будет в будущем.

1034. В 30 050 г., $\pi = 1'',05$; $\mu = 7'',11$; $m = -0,69$. 1035. $\vartheta = 142^\circ,4$; $\pi = 0'',80$; $\mu = 22'',5$; $m = 8,9$; $t = -9800$; дата 11 700 г. н. э. 1036. $\mu = 11'',56$; $\pi = 0'',574$. 1037. Решение. Из двух последних столбцов видно, что Солнце приближается к северному полюсу мира со скоростью $8,2$ км/сек и удаляется от южного со скоростью

9,3 км/сек, в среднем со скоростью 8,7 км/сек к северному полюсу мира. Также находим, что Солнце приближается к точке, лежащей на экваторе и имеющей $\alpha = 18^\circ$, со скоростью 19,4 км/сек (и со скоростью 1,8 км/сек к точке с координатами $\alpha = 12^\circ$, $\delta = 0^\circ$). Находя по этим трем компонентам движения обычным образом их результирующий вектор, находим движение со скоростью 21,3 км/сек к апексу с координатами $\alpha = 17^h40^m$, $\delta = +24^\circ$. 1038. Да, так как в случае такого криволинейного движения лучевые скорости звезд должны испытывать медленное систематическое изменение, различное для звезд, находящихся по разным направлениям, так как направление вектора скорости Солнца будет поворачиваться относительно звезд, а наблюдаемая их скорость относительно Солнца есть равнодействующая скорости Солнца и пространственной скорости звезды. 1039. Делаем чертеж, аналогичный предыдущему, размечая, однако, вдоль круга градусы склонения. Находим склонение апекса около $+35^\circ$ и антиапекса около -40° откуда в среднем склонение апекса $+37^\circ$. 1040. Лучевые скорости менялись бы пропорционально $\cos \lambda$, а собственные движения пропорционально $\sin \lambda$. 1041. Можно, по систематическому увеличению видимого блеска звезд вблизи апекса и его уменьшению у звезд вблизи антиапекса. 1042. Через 26 000 лет. 1043. $+53,8$ км/сек. 1044. $+17,6$ км/сек. 1045. $v = -0",0460$; $\tau = -0",0797$. 1046. $v = -0",022$; $\tau = +0",0628$. 1047. $v' = 0",010$; $\tau' = 0",064$. 1048. $0",028$. 1049. $\pi = 0",0023$, $M = +0,3$. 1050. $0",0071$. 1051. $0",0015$ и $M = -0,4$. 1052. По τ -компоненту $\bar{\pi} = 0",00129$, по v -компоненту $\bar{\pi} = 0",00123$, в среднем $\bar{\pi} = 0",00126$, откуда $M = -3,5$. 1053. $0",031$. 1054. $V = 44,2$ км/сек, $\pi = 0",25$. 1055. 79 парсеков; 550 парсеков. 1056. При низких температурах. 1057. $-0,64$ при $T = \infty$. 1059. Более яркий компонент $2,28 + 1,12 = 3,40$, более слабый компонент $5,08 - 0,04 = 5,04$. 1061. 57 м. 1062. 3 м. 1063. Диаметр α Скорпиона больше в 3000 раз. 1064. 10,5 радиуса Солнца. 1065. 480 радиусов Солнца. 1066. 0,034 радиуса Солнца. 1067. 62 радиуса Солнца. $0",033$. 1068. По диаметру в 630 раз больше Юпитера, или в 63 раза больше Солнца, т. е. в 35 раз больше самого Сириуса — что невероятно. Отсюда заключаем, что спутник — самосветящееся тело. 1069. $23\ 000^\circ$. $11\ 200^\circ$. 6000° . 4100° , 4600° , 6500° , 23000° . 1071. От 2300° до 1650° . 1072. 4200° . 1073. 2 калории в год. 1074. 3 мг. 1075. 4350° . 1076. 3100° . 1077. Около 4000° . 1078. 4000° . 1079. 10 масс Солнца. 1080. 0,9 массы Солнца. 1081. $5 \cdot 10^{-3}$ г/см³. 1082. Около 100 кг/см³. 1003. 10^5 г/см³. 1084. Кинетические энергии относятся, как $2,2 : 4,1 : 3,6$, т. е. несмотря на значительное разнообразие в массах и скоростях, кинетические энергии различаются очень мало и обнаруживают равномерное распределение энергии среди звезд.

К разделу XXV. ДВОЙНЫЕ ЗВЕЗДЫ

1085. $0",16$. 1086. $0,64$. 1087. 1,6. 1089. 7,5 массы Солнца. 1090. 1,5 массы Солнца. 1091. В 23,5 раза. 1092. $m_1 + m_2 = 2,1$ массы Солнца. 1093. 11,5 астр. единицы и 6,5 массы Солнца. 1094. 5,5 массы Солнца. 1095. В 1,7 раз. 1096. 100 а. е. $p = 707$ лет; $m_1 = m_2 = 13,35$; суммарная зв. величина 12,6. 1097. $a = 12 \cdot 10^8$ км; абсолютные величины 1,4 и 2,2, т. е. в 24 и в 11,5 раза ярче Солнца; массы 2,4 и 2,0 массы Солнца; скорость центра масс 13 км/сек;

отношение радиусов звезд 1 : 1,45; средняя орбитальная скорость 7,8 км/сек. 1098. Период 0,232 суток; скорость 20,2 км/сек. 1099. 0",76. 1100. 0",049. Полученное расхождение объясняется тем, что сумма масс этой пары значительно меньше 2 солнечных масс. 1101. 0",040. 1102. 0",095. 1103. 2",77. 1104. 0",022. 1105. Это — визуально двойная система с круговой орбитой, лежащей в плоскости, проходящей через луч зрения. 1107. Около 85°. Иметь в виду, что большая полуось истинной орбиты проходит через главную звезду и центр видимого эллипса совпадает с центром истинного эллипса. 1108. $e = 0,46$. Он равен отношению видимого расстояния главной звезды от центра видимого эллипса к диаметру видимого эллипса, проходящего через главную звезду (к проекции большой полуоси), так как расстояние фокуса от центра и большая полуось эллипса искажаются проекцией в одинаковом отношении. 1109. Точные данные для ζ Геркулеса $a = 12,2$ а.е.; $P = 34,5$ года; $e = 0,46$; $m_1 + m_2 = 1,6$; для Сириуса $a = 20,4$ а.е.; $e = 0,60$; $P = 50,0$ лет; $m_1 + m_2 = 3,4$. 1110. $a = 0",54$, $e = 0,36$, $P = 26$ лет. 1111. 34,6 км/сек. 1112. — 19 км/сек; + 19 км/сек; + 30 км/сек. 1114. $\frac{m_1}{m_2} = \frac{k_2}{k_1} = 1,20$. 1115. 90°; 0°; ω неопределенно. 1116. 138 а.е. 1117. 26 600 000 км. 1118. 5 020 000 км. 1119. Около 80 масс Солнца. 1120. $8 \times 0,315 = 2,5$ массы Солнца. 1121. $125 \times 0,315 = 39$ масс Солнца. Масса яркой звезды 31,50, а «темной» 7,87. 1122. 0,315 массы Солнца. 1123. $\mu = 0",0084$; светимость в 15 раз больше солнечной, диаметр в 3,9 раза больше солнечного; большая полуось 5,7 а.е., массы в 2,5 раза больше массы Солнца. По кривой масса — светимость массы получились бы около 2 масс Солнца.

К разделу XXVI. ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЕЗДЫ И НОВЫЕ ЗВЕЗДЫ

1125. В 480 раз. 1126. В 15,8 раза. 1127. 30 июня следующего года; 9 августа еще годом позже; 17 сентября следующего года. 1129. В 2 раза. 1130. Амплитуда $5\frac{1}{2}$ — $13\frac{1}{2}$ зв. величины; период около 400 суток. 1132. 3^d,68713. 1133. Амплитуда 7,27—7,78 зв. величины; период 0,567 суток, — это короткопериодическая цефеида RR Лиры. 1134. Период 16,5 суток, амплитуда 6,25—6,73 зв. величины. Это долгопериодическая цефеида (X Лебедя). 1135. Период 5,3 суток, амплитуда 3,69—4,13 зв. величины. Это цефеида — δ Цефея. 1136. Звезда с неправильными колебаниями блеска (это SN Лебедя).

1137. Этому противоречат спектральные наблюдения цефеид. 1138. 240 парсеков. 1139. 166 парсеков. 1140. 17,4. 1141. $\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^4 \times \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2$. Отсюда получаем $\left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 = 6,3 \cdot \frac{1}{2,7}$ или $\frac{R_1}{R_2} = 1,5$. 1142. $k = 1 - \frac{r^2}{R^2}$, откуда получаем $\frac{r}{R} = \sqrt{1-k}$. 1143. $2\alpha = 360^\circ \frac{P}{D}$; $\frac{R+r}{D} = \sin \alpha$, откуда $\frac{D}{R} = \left(1 + \frac{r}{R}\right) \operatorname{cosec} \alpha$. 1144. 0,836. 1145. $\frac{r}{R} = 0,965$; радиус орбиты 7,13 радиуса яркой звезды.

1146. Посредине между главными минимумами будем наблюдать небольшой вторичный минимум. 1147. 1. Частное затмение, темный спутник. 2. Двойные затмения, светлый спутник. 3. Двойные затмения неодинаково светлых, почти соприкасающихся звезд. 4. Кольцеобразное затмение, темный спутник. 5. То же, что 2, но с эффектом фазы. 6. Двойные затмения почти соприкасающихся и во всем почти одинаковых звезд. 1148. 0,42 плотности Солнца. 1149. Наблюдаемый период длиннее истинного на 1 : 10 000 периода, т. е. на 26 секунд. 1151. В 100 раз. 1152. Ответ на последний вопрос: с расстояния 1,8 парсека, т. е. дальше ближайших звезд. 1154. В этом случае отношение яркости должно равняться $16 \cdot 10^4 (T : T_1)^4$, откуда $T = 200\,000^\circ$, что невероятно.

К разделу XXVII. СТРОЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ

1155. 55 000 астр. единиц. 1156. 40 000 парсеков. 1157. 35 парсеков. 1158. 10 500 парсеков. 1159. 37 парсеков; —9,2 зв. величины. 1160. 240 000 парсеков = 780 000 световых лет; диаметр 13 500 световых лет. 1161. 14 000 парсеков.

1164. Пропорционально квадрату радиуса сферы. 1165. В 15,86 раза, так как соответствующие числа звезд относятся, как объемы сфер, радиусы которых относятся, как 2,512: 1. 1166. Слабая звезда отстоит дальше. 1169. 2400 парсеков. 1171. С учетом поглощения света вычисленные линейные диаметры спиральных туманностей становятся меньше, чем принималось до этого. 1172. $m = a - 5 \lg d$, где a — некоторая постоянная. 1173. Соотношение представится графически не прямой линией $m = a - 5 \lg d$, а линией более круто наклоненной к той оси, по которой мы будем откладывать $\lg d$. 1174. 0,006 зв. величины. 1175. 63 млн. парсеков или около 200 млн. световых лет. 1176. Логарифмическая спираль $r = Ce^{\alpha\phi}$, где α и C — некоторые постоянные

К СМЕШАННОМУ (XXVIII) РАЗДЕЛУ

1177. Справедливо. 1178. При помощи звездного глобуса найдем, что это бывает с апреля по сентябрь. 1179. Около летнего солнцестояния. 1180. В середине августа, т. е. как раз ко времени созревания хлеба. 1181. Решить эту задачу можно очень легко при помощи небесного глобуса. Установим звездный глобус так, чтобы северный полюс мира был над горизонтом на высоте $50-60^\circ$, так как наблюдение происходило в Сибири. Повернем звездный глобус вокруг его оси мира так, чтобы Стожары (Плеяды) стояли высоко над горизонтом, приблизительно около меридиана места. Из слов бродяги мы знаем, что время «за полночь зашло», т. е. говоря астрономическим языком, Солнце было под горизонтом около нижней своей кульминации. Отсюда уже легко определить положение Солнца на эклиптике: стоит только посмотреть теперь на наш установленный, как сказано выше, звездный глобус. Оказывается, что в данный момент Солнце будет в созвездии Стрельца, точнее сказать Солнце *будет входить* в созвездие Стрельца, а это бывает около 23 ноября. Таким образом, В. Г. Короленко беседовал с бродягой Богылем в *ноябре* и именно *между 20 и 30 ноября*.

1182. Решить эту задачу можно при помощи небесного глобуса так. Установив ось мира глобуса под углом 50° к горизонту, т. е. для широты средней полосы СССР, нужно повернуть глобус так, чтобы в зените стояли звезды Большой Медведицы, а на Востоке высоко стоял «Арктурас», т. е. Арктур (α Волопаса). Далее, по условиям задачи, Венера сияла низко на западе. Следовательно, нам известно к этому еще и положение Венеры на небе. Но так как мы знаем, что Венера не может далеко отходить от Солнца и самое большее удаляется от него на 48° , то мы можем определить отсюда положение Солнца на эклиптике в этот момент. Таким образом получим, что Солнце в это время входило в созвездие Тельца, что бывает в конце апреля (по новому стилю), т. е. весной. Следовательно, эта охота Облонского с Левиным происходила весной *около 20-х чисел апреля*.

1183. 1) Нет. 2) Зная, что «в зените сиял чудный Южный Крест», легко найти при помощи небесного глобуса, что «Наutilus» был тогда не на Южном полюсе Земли, а между 55° и 64° широты южного полушария. 3) Нет, Южный Крест не звезда, а созвездие, занимающее на небе область с 55° до 64° южного склонения. Южный полюс мира лежит в созвездии Октанта, близ звезды σ Октанта (пятой величины). σ Октанта и есть южная полярная звезда.

1184. При помощи небесного глобуса, который нужно установить для северной широты 40° и так, чтобы указанные в этих стихах созвездия находились над горизонтом, находим, что в момент восхода Плеяд заходит Волопас (Воот), а Большая Медведица будет действительно незаходящим созвездием; — «себя никогда не купая в водах Океана». Далее, в условии сказано, что Одиссей не сводил своих глаз с «нисходящего поздно в море Воота», т. е., иными словами, этот заход Волопаса значительно позднее захода Солнца или приблизительно в полночь. Таким образом в момент захода Волопаса или восхода Плеяд Солнце находилось в нижней своей кульминации. Если посмотреть теперь на эклиптику при этом положении небесного глобуса, то в этот момент в нижней кульминации будет находиться созвездие Льва, в котором Солнце бывает в июле. Следовательно, Одиссей плыл *летом* и именно в *июле*.

1185. $16'', 2; 62^c; 30$ км. **1188.** 14 июля в $6^h 48^m$ местного времени, через 2 часа после восхода Солнца. **1189.** $+48^\circ 19' 03''$, если Солнце находилось на юге. **1190.** $42^\circ 50'$. **1192.** 9 морских миль к западу и 2 мили к северу от истинного положения. **1193.** $1,8 \operatorname{ctg} 65^\circ = 0,84$ м. **1194.** $x = h [\operatorname{ctg} \beta - \operatorname{ctg} (\beta + \alpha)] = 0,18$ м. **1195.** 1) Требуется, чтобы азимут Солнца равнялся 0. Из формул (5), (6) отдела III, положив $\delta = 0$ и $A = \theta$, находим искомую формулу 2) $x = h \operatorname{tg} z \times \cos (90 - \theta)$, но $z = \varphi - \delta = \varphi - 0 = \varphi$, следовательно, $x = h \operatorname{tg} \varphi \sin \theta$. **1196.** $\cos \alpha/2 = (r - 0,273r)/60r; \alpha = 178^\circ 36'$. **1197.** Рефракция, абберация годичная и суточная; прецессия; нутация; параллакс годичный. **1198.** С 1 на 2 июля при пересечении линии смены дат со 2 на 1 июля при вступлении во 2-й пояс, с 1 на 2 июля в момент посадки. **1199.** Эта продолжительность в основном зависит от величины горизонтального параллакса; Солнце будет видно дольше. **1200.** Около 200 суток.

К разделу XXIX. ЗАДАЧИ ПО КОСМОНАВТИКЕ

1201. Нет, не могла, дальность горизонта для нее была недостаточна. Практически видимость вдаль затрудняется воздушной дымкой. **1202.** Спутники Земли видимы благодаря тому, что отражают

падающий на них солнечный свет. Вращаясь в полете, они поворачивают к нам различные площади своей поверхности, отражая то больше света, то меньше. 1203. Взвешивать так нельзя на любой высоте, потому что тела при этом невесомы. 1204. Все предметы и стены корабля имеют одинаковое ускорение и не дают на опору. Их «падение» к Земле происходит одинаково. 1205. Это можно сделать тремя способами: 1) отбросить контейнер назад (уменьшив этим его скорость относительно корабля, 2) бросить контейнер вниз (переводя этим его на орбиту меньшего радиуса, 3) сочетая оба движения, бросить контейнер назад и вниз. Энергетически наиболее экономен первый способ. 1206. Потому что большей скорости горизонтального запуска соответствует большая орбита, по которой движение медленнее и путь дольше — все это требует большего времени на один оборот. 1207. Вследствие большого поперечного сечения ракета-носитель сильнее тормозится атмосферой и снижается, а обращаясь тогда по меньшей орбите, она движется быстрее. Вокруг Луны нет атмосферы и потому ракета-носитель там не тормозится. 1208. 7,83; 7,76; 7,61; 7,35 км/сек, а для Марса 3,12; 3,31; 3,42; 3,55 км/сек. 1209. 1330 км. 1210. В перигее 7,98 км/сек, а в апогее 6,84 км/сек. 1211. 7,84 км/сек под углом 67° к экватору. 1212. Находим сперва круговую скорость корабля V_k , что при начальной скорости, равной нулю, и времени разгона t дает среднее ускорение $V_k : t = 25,7 \text{ м/сек}^2$. Средняя перегрузка, как отношение среднего ускорения корабля при запуске к ускорению силы тяжести на уровне моря $(g_0 + 25,7) : g_0 = 3,7$. 1213. День длится 66,6 мин, а ночь — 34,6 мин., сумерки же длятся всего около 0,9 мин. 1214. 36 000 км. 1215. Нельзя, так как такой отрезок виден под углом около $5''$, а разрешающая способность нормального глаза $2'$. 1216. Орбита должна быть полуэллипсом с афелием на орбите Луны. При этом условии горючее затрачивается только на приобретение кораблем соответствующей эллиптической скорости, а дальнейший ее полет происходит по закону Кеплера. Эта скорость 11,1 км/сек. Время полета около 5 суток. При фактических полетах корабль или станция делают сначала искусственным спутником Луны, а затем его снижают, тормозя реактивными двигателями. 1217. Скорость на окололунной орбите 1,69, а параболическая 2,38 км/сек, т. е. надо добавить 0,69 км/сек. 1218. Увидит. (Надо учесть, что хотя дальность горизонта для наблюдателя, стоящего в центре цирка, меньше чем радиус цирка, но вал возвышается над уровнем дна. 1219. 1,67 км/сек. 1220. 1,57; 3,31; 7,76 км/сек соответственно. 1221. На Луне 2,3 км, на Марсе 3,3 км. 1222. Около 1,3 года. Учитывается, что за время полета и Земля и Марс перемещаются, и в моменты посадки планета должна оказаться в афелии орбиты корабля, когда в него приходит корабль. На практике для посадок орбиту (скорость) корабля приходится корректировать хотя бы уж за счет ее изменения под воздействием возмущений в ее движении, вызываемых притяжением данной планеты и других тел. 1223. Каждые 2,1 года. (Учитываются требования, указанные в ответе к предыдущей задаче.) 1224. Применяя 3-й закон Кеплера, находим продолжительность полета около 0,7 года, т. е. 255 суток. 1225. 8140 км и 91 020 км от поверхности Марса. 1227. 19,7 м. 1228. Масса $1,2 \cdot 10^{28} \text{ г}$, Плотность $2,7 \text{ г/см}^3$. 1229. 16,7 км/сек.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица I

Математические и физические постоянные

Число	Логарифм	Число	Логарифм
π 3,1416	0,49715	4π 12,5664	1,09221
2π 6,2832	0,79818	e 2,7183	0,43429
Число градусов в радиане		57,2958	1,75812
» минут »	»	3437,75	3,53628
» секунд »	»	206 265	5,31443
$1'$ в радианах		0,000291	3,46389—10

$$1 \text{ км} = 10^3 \text{ м} = 10^5 \text{ см}; 1 \text{ см} = 10 \text{ мм} = 10^4 \mu = 10^7 \text{ мμ} = 10^8 \text{ Å}$$

$$1 \text{ джоуль} = 10^7 \text{ эргов} = 0,101972 \text{ килограмметра}$$

	Число	Логарифм
Механический эквивалент тепла (м. калория)	$4,185 \cdot 10^7$ эргов	7,62170
Скорость света в пустоте	$2,998 \cdot 10^{10}$ см/сек	10,47683
Гауссова постоянная k	0,017202	8,23558—10
Постоянная тяготения	$6,673 \cdot 10^{-8}$	2,82432—10
Постоянная закона Стефа- на σ	$5,72 \cdot 10^{-5}$	5,75740—10
Постоянная закона Вина	0,289	9,46090—10

(в си-
стеме
CGS)

Астрономические постоянные

	Число	Логарифм
Число секунд в сутках	86400	4,93651
Экваториальный радиус Земли	6378,16 км	3,80469
Полярный радиус Земли	6356,78 км	3,80324
Радиус шара, равновеликого Земле	6371,03 км	3,80423

Продолжительность суток:

звездные 23^ч56^м4^с,091 среднего солнечного времени

средние солнечные 24^ч3^м56^с,555 звездного времени

Продолжительность года (в среднем времени):

тропического	365д,2422 = 365д5ч48м47с
звездного	365д,2564 = 365д6ч 9м10с
аномалистического	365д,2596 = 365д6ч13м53с

Продолжительность месяца (в среднем времени):

синодического	29д,5306 = 29д12ч44м3с
звездного	27д,3217 = 27д7ч43м12с
драконического	27д,2122 = 27д5ч5м36с

	Число	Логарифм
Масса Земли	$5,978 \cdot 10^{27}$ г	27,77627
Масса Солнца = 331950 масс Земли	$1,990 \cdot 10^{33}$ г	33,29732
Радиус Солнца	$6,960 \cdot 10^{10}$ см	10,84217
Абсолютная фотовизуальная величина Солнца	4 ^м ,96	
Объем Солнца = 1 304 000 объемов Земли		
Средняя плотность Солнца	1,41 г/см ³	0,14922
Период вращения Солнца на экваторе	24д,65	
Ускорение силы тяжести на поверхности Солнца = 27,89 земного ускорения силы тяжести	274 м/сек ²	2,43775
Параболическая скорость на поверхности Солнца	617,7 км/сек	2,79029
Параллакс Солнца	8",79,4	
Астрономическая единица	$1,496 \cdot 10^8$ км	8,17464
Световой год = $6,33 \cdot 10^4$ а. е.	$9,463 \cdot 10^{12}$ км	12,97603
Парсек = 3,26 светового года = = 206 265 а. е.	$3,084 \cdot 10^{13}$ км	13,4891

Таблица II. Солнце

Средняя гринвичская полночь (0^ч мирового времени)

Дата	День неде- ли	Уравнение времени: сред- нее — истинное	Часовое изменение	Видимое прямое восхождение	Видимое склоне- ние	Часовое изменение	Радиус	Звездное время
Июнь	13	-0 ^m 25 ^s 75	0 ^s 514	5 ^h 20 ^m 56 ^s 47	+23° 8' 48" 9	9" 68	946" 39	17 ^h 21 ^m 20 ^s 223
	14	0 13 31	0 522	5 25 5 47	23 12 28 9	8 66	946 29	17 25 18 782
	15	-0 0 70	0 529	5 29 14 64	23 15 44 4	7 63	946 20	17 29 15 341
	16	+0 12 06	0 535	5 33 23 96	23 18 35 3	6 60	946 11	17 33 11 899
	17	0 24 95	0 539	5 37 33 40	23 21 1 5	5 57	946 53	17 37 8 458
	18	0 37 93	0 542	5 41 42 94	23 23 2 9	4 54	945 96	17 41 5 017
	19	+0 50 97	0 545	5 45 52 55	+23 24 39 5	3 51	945 89	17 45 1 576
	20	1 4 06	0 546	5 50 2 19	23 25 51 3	2 47	945 83	17 48 58 134
	21	1 17 15	0 545	5 54 11 84	23 26 38 2	1 44	945 77	17 52 54 693
	22	1 30 23	0 544	5 58 21 43	23 27 0 3	0 40	945 72	17 56 51 252
	23	1 43 26	0 542	6 2 31 07	23 26 57 5	0 63	945 67	18 0 47 810
	24	1 56 23	0 539	6 6 40 60	23 26 30 0	1 66	945 63	18 4 44 369
	25	+2 9 11	0 535	6 10 50 04	+23 25 37 7	2 70	945 59	18 8 40 928
	26	2 21 88	0 530	6 14 59 37	23 24 20 6	3 37	945 55	18 12 37 486
Июль	27	2 34 52	0 524	6 19 8 57	23 22 38 9	4 75	945 52	18 16 34 045
	28	2 47 01	0 517	6 23 17 61	23 20 32 5	5 78	945 49	18 20 30 604
	29	2 59 33	0 510	6 27 26 49	23 18 1 6	6 80	945 47	18 24 27 162
	30	3 11 46	0 501	6 31 35 18	23 15 6 2	7 82	945 45	18 28 23 721
	1	+3 23 39	0 492	6 35 43 67	+23 11 46 4	8 83	945 43	18 32 20 280
	2	3 35 10	0 483	6 39 51 93	23 8 2 3	9 84	945 41	18 36 16 838
	3	3 46 56	0 472	6 43 59 95	23 3 53 9	10 85	945 40	18 40 13 397
	4	3 57 76	0 461	6 48 7 72	22 59 21 4	11 86	945 39	18 44 9 955
	5	4 8 69	0 449	6 52 15 20	22 54 24 9	12 86	945 38	18 48 6 513
	6	4 19 32	0 437	6 56 22 39	22 49 4 4	13 85	945 38	18 52 3 672
	7	+4 29 64	0 423	7 0 35 26	+22 43 20 1	14 84	945 38	18 55 59 636
	8	4 39 62	0 409	7 4 39 20	22 37 12 1	15 82	945 39	18 59 56 188
	9	4 49 25	0 394	7 8 41 99	22 30 40 5	16 80	945 40	19 3 52 747
	10	4 58 51	0 378	7 12 47 81	22 23 45 6	17 77	945 42	19 7 49 305
	11	5 7 38	0 361	7 16 53 24	22 16 27 4	18 74	945 44	19 11 45 863
	12	5 15 84	0 344	7 20 58 26	22 8 46 1	19 70	945 46	19 15 42 422
	13	+5 23 88	0 326	7 25 2 86	+22 0 41 9	20 65	945 49	19 19 38 980
	14	5 31 48	0 307	7 29 7 01	21 52 15 0	21 59	945 53	19 23 35 538
	15	5 38 61	0 287	7 33 10 70	21 43 25 6	22 53	945 57	19 27 32 096
	16	5 45 25	0 267	7 37 13 91	21 34 43 8	23 45	945 62	19 31 28 654
	17	5 51 40	0 245	7 41 16 61	21 24 40 0	24 37	945 67	19 35 25 212
	18	5 57 03	0 223	7 45 18 79	21 14 44 3	25 27	945 73	19 39 21 770

Таблица 111

Часы, минуты и секунды в долях суток

Часы в долях суток		Минуты в долях суток				Секунды в долях суток	
1	0,041667	1	0,000694	31	0,021528	1	0,000012
2	0,083333	2	0,001389	32	0,022222	2	0,000023
3	0,125000	3	0,002083	33	0,022917	3	0,000035
4	0,166667	4	0,002778	34	0,023611	4	0,000046
5	0,208333	5	0,003472	35	0,024305	5	0,000058
6	0,250000	6	0,004167	36	0,025000	6	0,000069
7	0,291667	7	0,004861	37	0,025694	7	0,000081
8	0,333333	8	0,005556	38	0,026389	8	0,000093
9	0,375000	9	0,006250	39	0,027083	9	0,000104
10	0,416667	10	0,006944	40	0,027778	10	0,000116
11	0,458333	11	0,007639	41	0,028472	11	0,000127
12	0,500000	12	0,008333	42	0,029167	12	0,000139
13	0,541667	13	0,009028	43	0,029861	13	0,000150
14	0,583333	14	0,009722	44	0,030556	14	0,000162
15	0,625000	15	0,010417	45	0,031250	15	0,000174
16	0,666667	16	0,011111	46	0,031944	16	0,000185
17	0,708333	17	0,011805	47	0,032639	17	0,000197
18	0,750000	18	0,012500	48	0,033333	18	0,000208
19	0,791667	19	0,013194	49	0,034028	19	0,000220
20	0,833333	20	0,013889	50	0,034722	20	0,000231
21	0,875000	21	0,014583	51	0,035417	30	0,000347
22	0,916667	22	0,015278	52	0,036111	40	0,000463
23	0,958333	23	0,015972	53	0,036805	50	0,000579
24	1,000000	24	0,016667	54	0,037500	60	0,000694
		25	0,017361	55	0,038194		
		26	0,018055	56	0,038889		
		27	0,018750	57	0,039583		
		28	0,019444	58	0,040278		
		29	0,020139	59	0,040972		
		30	0,020833	60	0,041667		

Таблица IV

Выражение дуги в часах, минутах и секундах

Градусы в часах, минутах и секундах				Минуты дуги в часах, минутах и секундах				Секунды дуги в часах, минутах и секундах			
1°	0ч 4м	120°	8ч 0м	1'	0м 4с	31'	2м 4с	1"	0с,07	31"	2с,07
2	0 8	130	8 40	2	8	32	8	2	0,13	32	2,13
3	0 12	140	9 20	3	12	33	12	3	0,20	33	2,20
4	0 16	150	10 0	4	16	34	16	4	0,27	34	2,27
5	0 20	160	10 40	5	20	35	20	5	0,33	35	2,33
6	0 24	170	11 20	6	24	36	24	6	0,40	36	2,40
7	0 28	180	12 0	7	28	37	28	7	0,47	37	2,47
8	0 32	190	12 40	8	32	38	32	8	0,53	38	2,53
9	0 36	200	13 20	9	36	39	36	9	0,60	39	2,60
10	0 40	210	14 0	10	40	40	40	10	0,67	40	2,67
11	0 44	220	14 40	11	44	41	44	11	0,73	41	2,73
12	0 48	230	15 20	12	48	42	48	12	0,80	42	2,80
13	0 52	240	16 0	13	52	43	52	13	0,87	43	2,87
14	0 56	250	16 40	14	0 56	44	2 56	14	0,93	44	2,93
15	1 0	260	17 20	15	1 0	45	3 0	15	1,00	45	3,00
20	1 20	270	18 0	16	4	46	4	16	1,07	46	3,07
30	2 0	280	18 40	17	8	47	8	17	1,13	47	3,13
40	2 40	290	19 20	18	12	48	12	18	1,20	48	3,20
50	3 20	300	20 0	19	16	49	16	19	1,27	49	3,27
60	4 0	310	20 40	20	20	50	20	20	1,33	50	3,33
70	4 40	320	21 20	21	24	51	24	21	1,40	51	3,40
80	5 20	330	22 0	22	28	52	28	22	1,47	52	3,47
90	6 0	340	22 40	23	32	53	32	23	1,53	53	3,53
100	6 40	350	23 20	24	36	54	36	24	1,60	54	3,60
110	7 20	360	24 0	25	40	55	40	25	1,67	55	3,67
				26	44	56	44	26	1,73	56	3,73
				27	48	57	48	27	1,80	57	3,80
				28	52	58	52	28	1,87	58	3,87
				29	1 56	59	3 56	29	1,93	59	3,93
				30	2 0	60	4 0	30	2,00	60	4,00

Таблица V

Выражение часов, минут и секунд в дуговых мерах

Часы		Минуты				Секунды			
1 ^ч	15°	1 ^м	0° 15'	31 ^м	7° 45'	1 ^с	0' 15"	31 ^с	7' 45"
2	30	2	0 30	32	8 0	2	0 30	32	8 0
3	45	3	0 45	33	8 15	3	0 45	33	8 15
4	60	4	1 0	34	8 30	4	1 0	34	8 30
5	75	5	1 15	35	8 45	5	1 15	35	8 45
6	90	6	1 30	36	9 0	6	1 30	36	9 0
7	105	7	1 45	37	9 15	7	1 45	37	9 15
8	120	8	2 0	38	9 30	8	2 0	38	9 30
9	135	9	2 15	39	9 45	9	2 15	39	9 45
10	150	10	2 30	40	10 0	10	2 30	40	10 0
11	165	11	2 45	41	10 15	11	2 45	41	10 15
12	180	12	3 0	42	10 30	12	3 0	42	10 30
13	195	13	3 15	43	10 45	13	3 15	43	10 45
14	210	14	3 30	44	11 0	14	3 30	44	11 0
15	225	15	3 45	45	11 15	15	3 45	45	11 15
16	240	16	4 0	46	11 30	16	4 0	46	11 30
17	255	17	4 15	47	11 45	17	4 15	47	11 45
18	270	18	4 30	48	12 0	18	4 30	48	12 0
19	285	19	4 45	49	12 15	19	4 45	49	12 15
20	300	20	5 0	50	12 30	20	5 0	50	12 30
21	315	21	5 15	51	12 45	21	5 15	51	12 45
22	330	22	5 30	52	13 0	22	5 30	52	13 0
23	345	23	5 45	53	13 15	23	5 45	53	13 15
24	360	24	6 0	54	13 30	24	6 0	54	13 30
		25	6 15	55	13 45	25	6 15	55	13 45
		26	6 30	56	14 0	26	6 30	56	14 0
		27	6 45	57	14 15	27	6 45	57	14 15
		28	7 0	58	14 30	28	7 0	58	14 30
		29	7 15	59	14 45	29	7 15	59	14 45
		30	7 30	60	15 0	30	7 30	60	15 0

Таблица VI
Перевод единиц среднего времени в звездные

Часы		Минуты				Секунды	
среднее	звездное	среднее	звездное	среднее	звездное	среднее	звездное
1 ч	1ч0м9с,86	1м	1м0с,16	31м	31м5с,09	1 ^с	11с,00
2	2 0 19,71	2	2 0,33	32	32 5,26	3	3,01
3	3 0 29,57	3	3 0,49	33	33 5,42	5	5,01
4	4 0 39,43	4	4 0,66	34	34 5,59	7	7,02
5	5 0 49,28	5	5 0,82	35	35 5,75	9	9,02
6	6 0 59,14	6	6 0,99	36	36 5,91	11	11,03
7	7 1 9,00	7	7 1,15	37	37 6,08	13	13,04
8	8 1 18,85	8	8 1,31	38	38 6,24	15	15,04
9	9 1 28,71	9	9 1,48	39	39 6,41	17	17,05
10	10 1 38,56	10	10 1,64	40	40 6,57	19	19,05
11	11 1 48,42	11	11 1,81	41	41 6,74	21	21,06
12	12 1 58,28	12	12 1,97	42	42 6,90	23	23,06
13	13 2 8,13	13	13 2,14	43	43 7,06	25	25,07
14	14 2 17,99	14	14 2,30	44	44 7,23	27	27,07
15	15 2 27,85	15	15 2,46	45	45 7,39	29	29,08
16	16 2 37,70	16	16 2,63	46	46 7,56	31	31,08
17	17 2 47,56	17	17 2,79	47	47 7,72	33	33,09
18	18 2 57,42	18	18 2,96	48	48 7,89	35	35,10
19	19 3 7,27	19	19 3,12	49	49 8,05	37	37,10
20	20 3 17,13	20	20 3,29	50	50 8,21	39	39,11
21	21 3 26,99	21	21 3,45	51	51 8,38	41	41,11
22	22 3 36,84	22	22 3,61	52	52 8,54	43	43,12
23	23 3 46,70	23	23 3,78	53	53 8,71	45	45,12
24	24 3 56,56	24	24 3,94	54	54 8,87	47	47,13
		25	25 4,11	55	55 9,04	49	49,13
		26	26 4,27	56	56 9,20	51	51,14
		27	27 4,44	57	57 9,36	53	53,15
		28	28 4,60	58	58 9,53	55	55,15
		29	29 4,76	59	59 9,69	57	57,16
		30	30 4,93	60	60 9,86	59	59,16

Таблица VII

Перевод единиц звездного времени в средние

Часы		Минуты				Секунды	
звездное	среднее	звездное	среднее	звездное	среднее	звездное	среднее
1ч	0ч59м50с,17	1м	0м59с,84	31м	30м54с,92	1с	1с,00
2	1 59 40,34	2	1 59,67	32	31 54,76	3	2,99
3	2 59 30,51	3	2 59,51	33	32 54,59	5	4,99
4	3 59 20,68	4	3 59,34	34	33 54,43	7	6,98
5	4 59 10,85	5	4 59,18	35	34 54,27	9	8,98
6	5 59 1,02	6	5 59,03	36	35 54,10	11	10,97
7	6 58 51,19	7	6 58,85	37	36 53,94	13	12,96
8	7 58 41,36	8	7 58,69	38	37 53,77	15	14,96
9	8 58 31,53	9	8 58,53	39	38 53,61	17	16,95
10	9 58 21,70	10	9 58,36	40	39 53,45	19	18,95
11	10 58 11,87	11	10 58,20	41	40 53,28	21	20,94
12	11 58 2,05	12	11 58,03	42	41 53,12	23	22,94
13	12 57 52,22	13	12 57,87	43	42 52,96	25	24,93
14	13 57 42,39	14	13 57,71	44	43 52,79	27	26,93
15	14 57 32,56	15	14 57,54	45	44 52,63	29	28,92
16	15 57 22,73	16	15 57,38	46	45 52,46	31	30,92
17	16 57 14,90	17	16 57,22	47	46 52,30	33	32,91
18	17 57 3,07	18	17 57,05	48	47 52,14	35	34,90
19	18 56 53,24	19	18 56,89	49	48 51,97	37	36,90
20	19 56 43,41	20	19 56,72	50	49 51,81	39	38,89
21	20 56 33,58	21	20 56,56	51	50 51,64	41	40,89
22	21 56 23,75	22	21 56,40	52	51 51,48	43	42,88
23	22 56 13,92	23	22 56,23	53	52 51,32	45	44,88
24	23 56 4,09	24	23 56,07	54	53 51,15	47	46,87
		25	24 55,90	55	54 50,99	49	48,87
		26	25 55,74	56	55 50,83	51	50,86
		27	26 55,58	57	56 50,66	53	52,86
		28	27 55,41	58	57 50,50	55	54,85
		29	28 55,25	59	58 50,33	57	56,84
		30	29 55,09	60	59 50,17	59	58,84

Таблица VIII
Средняя рефракция по Гюльдену

<i>z</i>	Рефракция	<i>z</i>	Рефракция	<i>z</i>	Рефракция
0°	0'0",0	50°0'	1'8",5	72°20'	2'58",8
1	1,0	30	9,9	40	3 2,4
2	2,0	51 0	11,0	73 0	6,1
3	3,0	30	12,3	20	10,0
4	4,0	52 0	13,6	40	13,9
5	5,0	30	14,9	74 0	18,1
6	6,0	53 0	16,3	10	20,5
7	7,1	30	17,6	20	22,4
8	8,1	54 0	19,1	30	24,6
9	9,1	30	20,6	40	26,9
10	10,1	55 0	22,1	50	29,2
11	11,2	30	23,6	75 0	31,5
12	12,2	56 0	25,2	10	34,0
13	13,3	30	26,8	20	36,5
14	14,4	57 0	28,4	30	39,0
15	15,4	30	30,1	40	41,6
16	16,5	58 0	31,9	50	44,2
17	17,6	30	33,7	76 0	46,9
18	18,7	59 0	35,5	10	49,6
19	19,8	30	37,4	20	52,5
20	20,9	60 0	39,4	30	55,3
21	22,1	30	41,4	40	58,2
22	23,3	61 0	43,5	50	4 1,2
23	24,4	30	45,6	77 0	4,3
24	25,6	62 0	47,8	10	7,5
25	26,8	30	50,2	20	10,7
26	28,1	63 0	52,6	30	14,0
27	29,3	30	55,0	40	17,3
28	30,6	64 0	57,5	50	20,8
29	31,9	30	2 0,1	78 0	24,4
30	33,2	65 0	2,8	10	28,1
31	34,6	30	5,7	20	31,8
32	36,0	66 0	8,6	30	35,7
33	37,4	30	11,6	40	39,7
34	38,8	67 0	14,8	50	43,9
35	40,3	30	18,1	79 0	47,8
36	41,8	68 0	21,6	10	52,1
37	43,4	30	25,1	20	56,6
38	45,0	69 0	28,9	30	5 1,1
39	46,6	30	32,8	40	5,8
40	48,3	70 0	36,9	50	10,6
41	50,0	30	41,3	80 0	15,5
42	51,8	71 0	45,7		
43	53,6	20	48,8		
44	55,5	40	52,0		
45	57,5	72 0	55,4		
46	59,6				
47	1 1,7				
48	3,8				
49	6,2				

Таблица IX

Годовая прецессия

Прецессия по прямому восхождению														Прецессия по склонению
α \ δ	-40°	-30°	-20°	-10°	0°	+10°	+20°	+30°	+40°	+50°	+60°	+70°		
0 ^h	3 ^c .1	3 ^c .1	3 ^c .1	3 ^c .1	3 ^c .1	3 ^c .1	3 ^c .1	3 ^c .1	3 ^c .1	3 ^c .1	3 ^c .1	3 ^c .1	+20"	
1	2.8	2.9	3.0	3.0	3.1	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.7	4.0	+19	
2	2.5	2.7	2.8	2.9	3.1	3.2	3.3	3.5	3.6	3.9	4.2	4.5	+17	
3	2.3	2.4	2.5	2.6	3.1	3.3	3.4	3.6	3.7	4.0	4.3	4.7	+14	
4	2.1	2.3	2.4	2.5	3.1	3.3	3.5	3.8	4.0	4.4	4.8	5.2	+10	
5	2.0	2.3	2.6	2.8	3.1	3.3	3.5	3.8	4.2	4.6	5.1	5.6	+5	
6	2.0	2.3	2.6	2.8	3.1	3.3	3.6	3.8	4.2	4.7	5.4	6.7	0	
7	2.0	2.3	2.6	2.8	3.1	3.3	3.5	3.8	4.4	4.6	5.3	6.6	-5	
8	2.1	2.4	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	4.0	4.4	5.1	6.2	-10	
9	2.2	2.5	2.8	3.0	3.1	3.3	3.4	3.6	3.9	4.2	4.7	5.9	-14	
10	2.5	2.7	3.0	3.2	3.1	3.3	3.3	3.5	3.8	4.3	4.9	6.4	-17	
11	2.8	2.9	3.0	3.0	3.1	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.7	4.0	-19	
12	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	-20	
13	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	-19	
14	3.6	3.5	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	-17	
15	3.9	3.6	3.4	3.2	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	-14	
16	4.0	3.7	3.5	3.3	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	-10	
17	4.2	3.8	3.5	3.3	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	-5	
18	4.2	3.8	3.6	3.3	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	0	
19	4.2	3.8	3.5	3.3	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	+5	
20	4.0	3.7	3.5	3.3	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	+10	
21	3.9	3.6	3.4	3.2	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	+14	
22	3.6	3.5	3.3	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	+17	
23	3.4	3.3	3.2	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	+19	
24	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	+20	

Таблица X

Элементы планетных орбит

Планеты	Среднее расстояние от Солнца в астр. ед.	Среднее расстояние в млн. км	Период обращения в звездных годах	Эксцент- риситет	Наклон орбиты к эклиптике	Долгота восходящего узла	Долгота перигелия
Меркурий	0,387090	57,85	0,2408	0,20562	7°00'12"	47°22'50"	76°12'39"
Венера	0,723331	108,10	0,6152	0,00681	3°23'38"	75°57'35"	130°26'44"
Земля	1,000000	149,45	1,0000	0,01674	0°00'00"	—	101°33'53"
Марс	1,523688	227,72	1,8808	0,09333	1°51'01"	48°56'25"	331°35'12"
Юпитер	5,202803	777,62	11,862	0,04837	1°18'28"	99°38'24"	13°02'01"
Сатурн	9,533843	1425,6	29,457	0,05582	2°29'29"	112°57'29"	91°28'50"
Уран	19,190978	2868,1	84,013	0,04710	0°46'22"	73°35'27"	169°22'07"
Нептун	30,070572	4494,1	164,783	0,00855	1°46'38"	130°53'56"	43°55'50"
Плутон	39,65	5929	248,858	0,24720	17° 6'51"	109°13'15"	222°21'15"

Элементы орбит относятся к началу 1920 г.

Физические характеристики больших планет

Название планеты	Истинный экваториальный диаметр		Сжатие у полюсов	Объем		Масса		
	в км	Земля =1		в 10 ¹² км ³	Земля =1	Солнце =1	Земля =1	в 10 ²⁷ г
Меркурий	4 870	0,38	0	0,071	0,066	$\frac{1}{8\,000\,000}$	0,042	0,25
Венера	12 100	0,95	0	1,050	0,970	$\frac{1}{406\,400}$	0,818	4,89
Земля	12 742	1,000	$\frac{1}{297}$	1,083	1,000	$\frac{1}{332\,300}$	1,000	5,98
Марс	6 790	0,538	$\frac{1}{190}$	0,168	0,155	$\frac{1}{3\,088\,000}$	0,108	0,64
Юпитер	143 600	11,26	$\frac{1}{16,3}$	1 456,9	1 344,8	$\frac{1}{1\,047,5}$	317,18	1 898,3
Сатурн	120 600	9,45	$\frac{1}{9,7}$	823,8	760,4	$\frac{1}{3\,496}$	94,98	568,2
Уран	50 000	3,92	$\frac{1}{18}$	75,4	69,6	$\frac{1}{22\,580}$	14,72	88,1
Нептун	49 700	3,90	$\frac{1}{50}$	63,0	58,1	$\frac{1}{19\,330}$	17,19	102,9
Плутон	<2 000	<0,3	?	?	?	?	?	?

Физические характеристики больших планет (продолжение)

Название планеты	Средняя плотность		Ускорение силы тяжести на экваторе		Параболическая скорость в км/сек	Звездный период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты	Звездная величина в среднем противостоянии или в средн. максимуме блеска
	Земля =1	в г/см	Земля =1	в м.сек ²				
Меркурий	0,99	5,45	0,38	3,7	4,3	58 ^d , 6	0°	+0,16
Венера	0,95	5,25	0,90	8,8	10,15	243 ^d , 2 (Обратн. вращение)	0°	-4,07
Земля	1,000	5,52	1,000	9,78	11,2	23ч56м04 ^c	23° 27	—
Марс	0,71	3,94	0,392	3,64	5,0	24ч37м23 ^c	25 10	-1,85
Юпитер	0,236	1,30	2,66	26,0	60,4	9ч50м30 ^c	3 06	-2,23
Сатурн	0,125	0,69	1,15	11,3	36,2	10ч14м24 ^c	26 45	+0,89 до -0,18
Уран	0,26	1,41	0,98	9,6	21,8	10ч49м	98	+5,74
Нептун	0,296	1,63	1,109	10,85	23,5	15ч48м	29	+7,65

Таблица XIII

Элементы спутников планет

Планета	Спутник	Среднее расстояние от центра планеты		Сидерический период обращения	Средний наклон орбиты к орбите планеты	Эксцентриситет	Диаметр в км
		в экваториальных радиусах планеты	в тыс. км				
Земля	Луна	60,267	384,40	27 ^d 7 ^h 43 ^m 11 ^s ,51	5° 8', 7	0,0549	3 476
Марс	Фобос Деймос	2,76 6,92	9,41 23,47	0 7 39 13,85 1 6 17 54,9	25 19,6 24 14,7	0,017 0,003	15? 8?
Юпитер	V I II III IV VI VII X XI VIII IX XII	2,523 5,869 9,339 14,896 26,201 159,5 163,5 163,6 314 328 334 297	181,2 421,5 670,7 1 069,9 1 881,7 11 450 11 740 11 750 22 550 23 500 24 000 21 000	0 11 57 22,70 1 18 27 33,51 3 13 13 42,05 7 3 42 33,35 16 16 32 11,21 250 16 19 260 1 26 260 12 692 12 738 22 745 0 732?	3 6,9 3 6,7 3 5,8 3 2,3 2 42,7 28 45 27 58 28 16 16 37 148 4 156 147	0,0028 0,0000 0,0003 0,0015 0,0075 0,155 0,207 0,132 0,207 0,378 0,25 0,13	160? 3 850 3 320 5 350 5 170 130? 40? 20? 20? 25? 25? 25?

Таблица XIII (продолжение)

Планета	Спутник	Среднее расстояние от центра планеты		Сидерический период обращения	Средний наклон орбиты к эклиптике	Эксцентриситет	Диаметр в км
		в экваториальных радиусах планеты	в тыс. км				
Сатурн	Мимас	3,08	185,5	0 ^h 22 ^m 37 ^s 5 ^c 25	26° 44', 7	0,0190	650?
	Энцелад	3,95	238,0	1 8 53 6,82	26 44,7	0,0001	800?
	Фетида	4,88	294,5	1 21 18 26,14	26 44,7	0,0000	1 300?
	Диона	6,26	377,3	2 17 41 9,53	26 44,7	0,0020	1 200?
	Рей	8,74	526,8	4 12 25 12,23	26 41,9	0,0009	1 750?
	Титан	20,26	1 221,5	15 22 41 26,82	26 7,1	0,0289	4 360?
	Гиперион	24,56	1 480,5	21 6 38 24,0	26 0,0	0,1043	500?
	Япет	59,03	3 558,8	79 7 56 24,4	16 18,1	0,0284	1 800?
	Феба	214,49	12 932	550 10 34	174 42	0,1659	250?
	Янус		158	18	0	0	350
	Миранда	5,25	130,4	1 9 50 24?	?	?	0
	Ариэль	7,18	191,7	2 12 29 20,8	97 59	0,007	900?
Уран	Умбриэль	10,00	267,1	4 3 27 36,7	97 59	0,008	700?
	Титания	16,41	438,2	8 16 56 26,7	97 59	0,0023	1 700?
	Оберон	21,94	585,9	13 11 7 3,5	97 59	0,0010	1 500?
	Тритон	14,24	353,7	5 21 2 33,1	139 49	0,000	5 000
	Нереида	223,1	5676,3	359 9 36	?	0,76	?

Таблица XIV

Спектры, показатели цвета (I) и температуры (T) звезд

Спектр	I	T	Спектр	I	T	Спектр	I	T
B0	—0,33	23 000°	gG0	0,67	5500°	dG0	0,57	6000°
B5	—0,18	15 000	gG5	0,92	4700	dG5	0,65	5600
A0	0,00	11 200	gK0	1,12	4100	dK0	0,78	5100
A5	0,20	8 600	gK5	1,57	3300	dK5	0,98	4400
F0	0,33	7 400	gM0	1,73	3050	dM0	1,45	3400
F5	0,47	6 500	N	2,6	2200			

d перед символом спектра означает, что звезда — карлик.

g » » » » » — гигант.

Таблица XV

Длины волн некоторых спектральных линий

Длина волны в ангстремах	Какому элементу принадлежит	Длина волны в ангстремах	Какому элементу принадлежит
4026	He	4640	N ⁺⁺
4102	H(H _δ)	4649	O ⁺
4200	He ⁺	4668	Fe
4227	Ca	4686	He ⁺
4384	Fe	6563	H(H _α)
4472	He		

Таблица XVI

Международная система единиц СИ

Эта Международная система принята как стандарт с 1961 г. в СССР и со временем должна заменить все остальные системы единиц. Основные единицы таковы:

Длина — метр (m)Масса — килограмм (kg)Время — эфемеридная секунда ($сек$)Сила света — свеча ($св$)Термодинамическая температура — градус шкалы Кельвина ($^{\circ}K$)Сила электрического тока — ампер (a)

В связи с задачами данного сборника могут быть использованы следующие производные единицы:

Плотность — кг/л^3

Сила и вес — ньютон (н), $\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{сек}^{-2}$

Работа, энергия, количество тепла — джоуль (дж) — $\text{н} \cdot \text{м}$.

Мощность — ватт (вт), т. е. $\text{дж} \cdot \text{сек}^{-1}$

Давление — н/м^2

Световой поток — люмен (лм), т. е. $\text{св} \cdot \text{стерадиан}$

Освещенность — люкс (лк), т. е. $\text{лм} \cdot \text{м}^{-2}$

При помощи данной таблицы можно величины, выраженные в системе CGS, выразить в системе СИ и обратно.

Примечание к таблицам

Первая таблица в настоящем издании приведена в соответствие со значениями, принятыми Международным Астрономическим Союзом в 1964 г. Введенные изменения очень невелики в сравнении с прежними изданиями и составляют лишь доли процента от прежних величин.

Таблицы X—XIII, посвященные членам Солнечной системы, требуют пояснения. За полвека своей педагогической и научной работы составитель данного сборника встречался с такими таблицами множество раз и нигде не находил комментариев к ним. В процессе работы над стабильным учебником для средней школы выяснилось, что данные о физических характеристиках планет и спутников даются с числом знаков, намного превосходящим реальную точность, с которой эти данные известны. Разные исследователи разными методами непрерывно выводят новые значения планетных характеристик. При этом далеко не всегда последние данные бывают наиболее точными и наиболее близкими к истине. Разные составители таблиц оказывают предпочтение разным данным. Разнобой в величинах масс, радиусов и плотностей планет, принятых солидными составителями книг, вышедших хотя бы в течение 1970—1973 гг., очень велик, в чем нетрудно убедиться. Плотности и ускорения силы тяжести на поверхности даются то с учетом гипотетической толщины непрозрачной атмосферы, то с учетом вращения, но это почти никогда не оговаривается. Унифицировать данные в разных справочниках невозможно вследствие непрерывного переопределения их. Следовало бы приводить физические данные о планетах с точностью, гораздо меньшей, но более реальной, и тогда данные разных таблиц согласовались бы лучше друг с другом. В настоящем издании мы решили внести поправки только в тех случаях, когда новые материалы существенно меняют принимавшиеся значения. Это коснулось преимущественно планет земной группы. Решение задач не требует точных данных и приложения к сборнику не преследуют цели заменять собой справочники вообще.

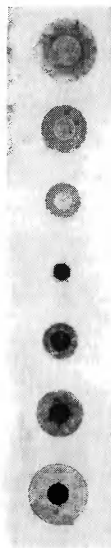


Рис. I. Фотографии звезды на разных расстояниях от фокуса.

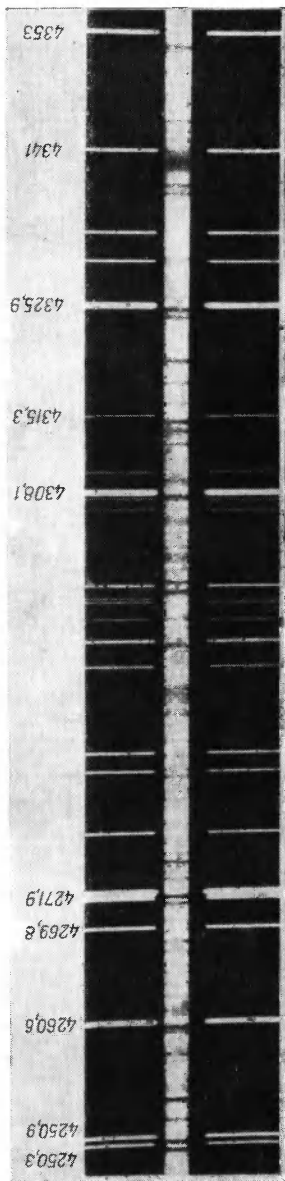


Рис. II. Спектр Пророна.

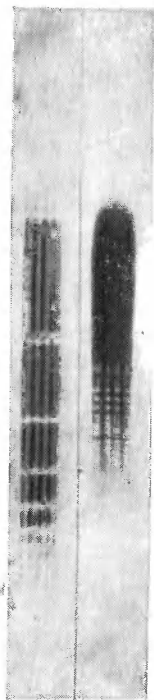


Рис. III. Спектры белой и красной звезд.



Рис. IV. Спектр ζ Тельца.

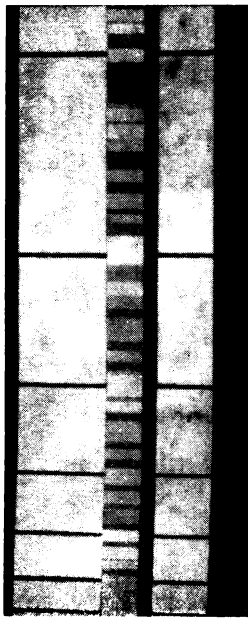


Рис. V. Спектры Веги и новой звезды в созвездии Геркулеса.

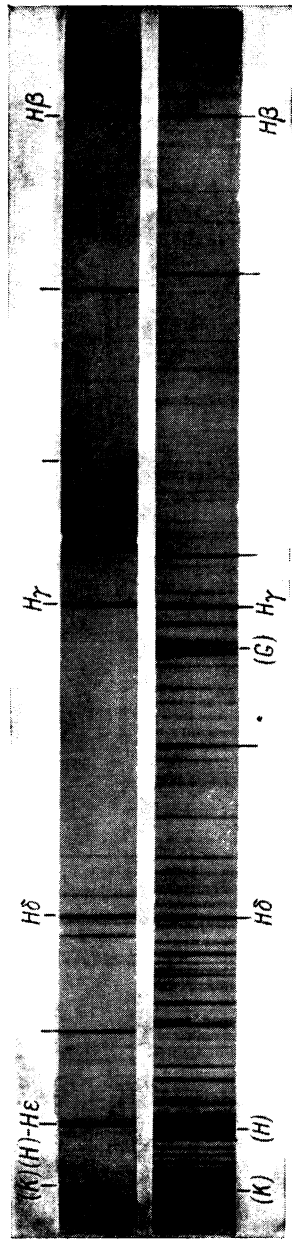


Рис. VI. Спектры ϵ Ориона (вверху) и α Возничего (внизу).



Рис. VII. Фотография части поверхности Луны.
Кратер Теофил.

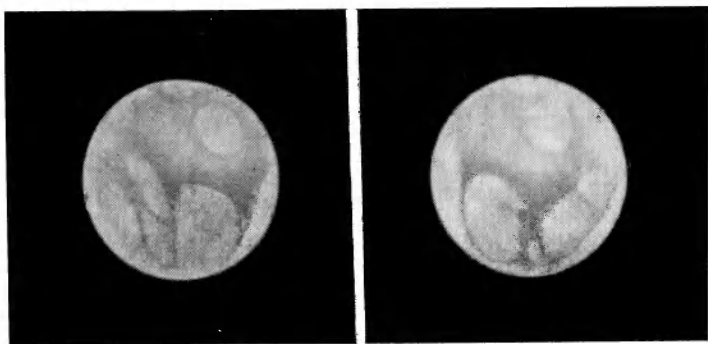
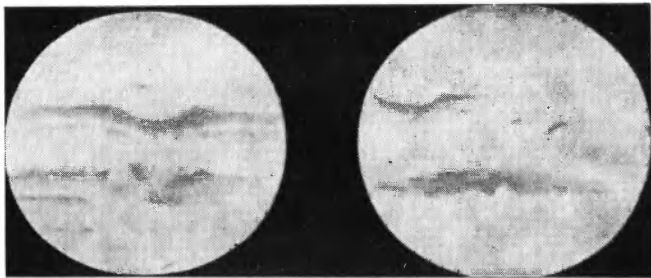
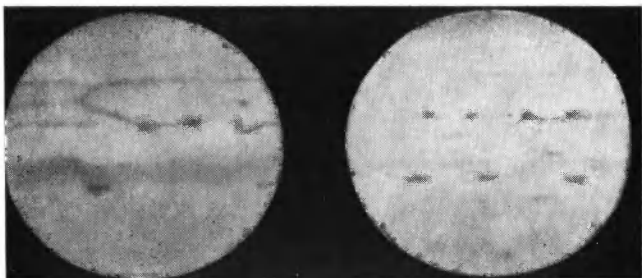


Рис. VIII. Две зарисовки Марса. Одна из них сделана через два часа после другой.



1 — 19 июня в 8^ч55^м

2 — 19 июня 10^ч40^м



3 — 20 февраля в 7^ч5^м

4 — 22 февраля в 9^ч0^м



5 — 27 февраля в 8^ч50^м

6 — 27 февраля в 10^ч35^м

Рис. IX. Рисунки Юпитера.



Рис. X. Рисунок кометы Донати 1858.

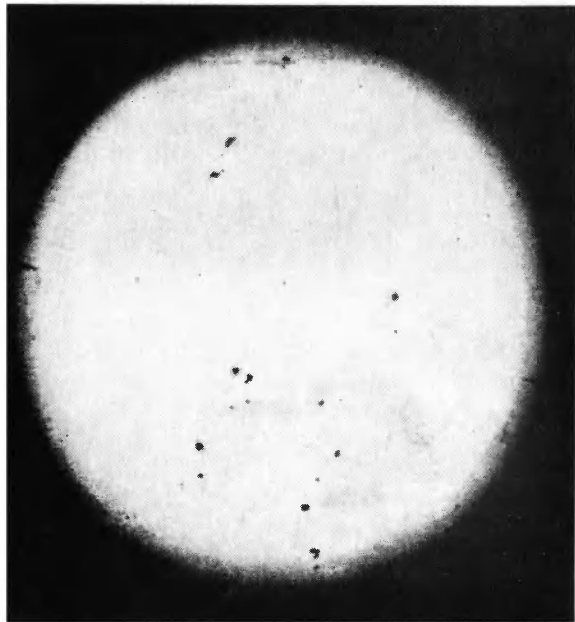


Рис. XI. Фотография Солнца с пятнами.

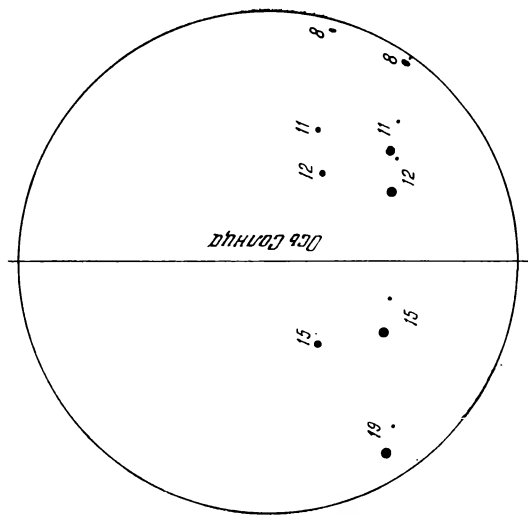


Рис. XII. На изображении диска Солнца зарисованы последовательные положения двух групп пятен в дни апреля: 8-го в $9^{\text{h}}00^{\text{m}}$, 11-го в $10^{\text{h}}30^{\text{m}}$, 12-го в $7^{\text{h}}10^{\text{m}}$, 15-го $12^{\text{h}}30^{\text{m}}$, 19-го в $9^{\text{h}}30^{\text{m}}$ (одиночное пятно к этому дню исчезло).

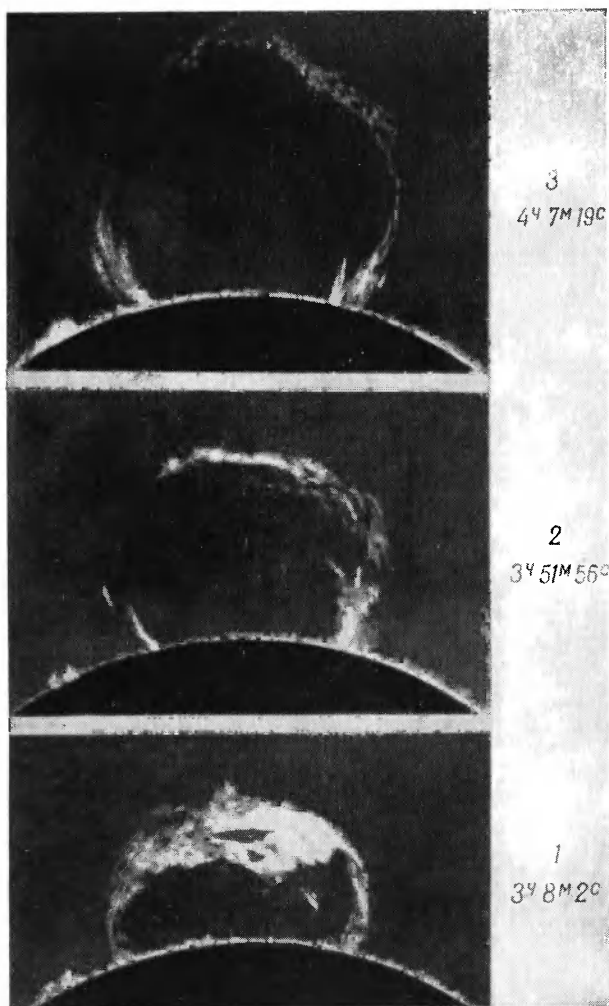


Рис. XIII. Ряд последовательных фотографий про-
туберанца.

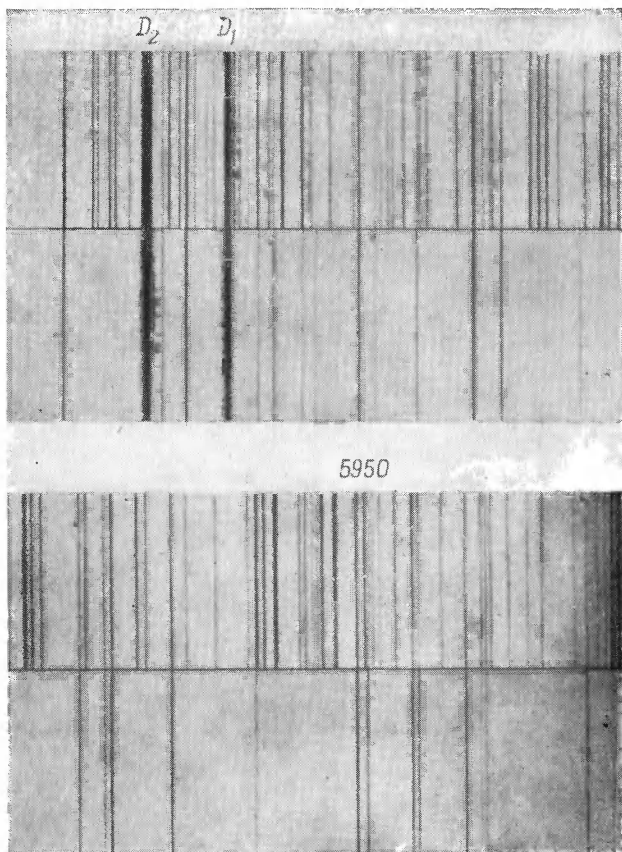


Рис. XIV. Спектр Солнца.

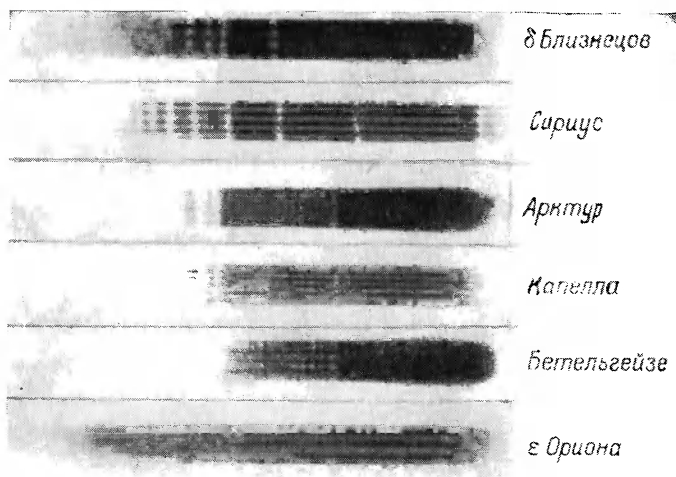
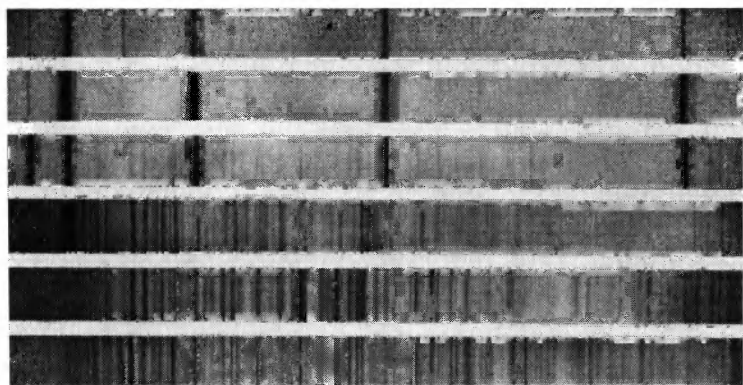


Рис. XV. Спектры звезд: верхние шесть (положительные изображения) сняты щелевым спектрографом, нижние шесть (негативные изображения) — призмной камерой.

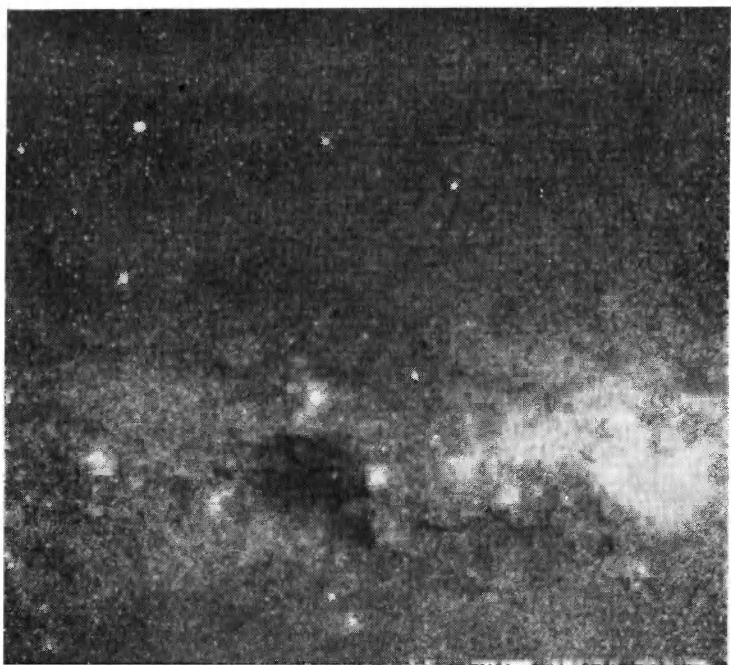


Рис. XVI. Фотография неба в области созвездий Центавра, Южного Креста и Мухи.



Рис. XVII. Карта той же области неба.

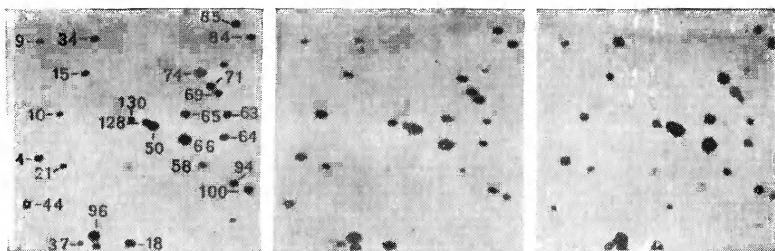


Рис. XVIII. Фотографии одной и той же области неба в созвездии Персея, полученные в разное время.



Рис. XIX. Спиральная туманность в созвездии Гончих Псов.