

САМАРСКИЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ДЛЯ ОДАРЕННЫХ ДЕТЕЙ
САМАРСКАЯ ОБЛАСТНАЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ШКОЛА

УСЛОВИЯ И РЕШЕНИЯ
КОНКУРСНЫХ ЗАДАЧ
ОТКРЫТОЙ МЕЖРЕГИОНАЛЬНОЙ ОЛИМПИАДЫ
ПО АСТРОНОМИИ им. Ф.А. БРЕДИХИНА
СРЕДИ ОБУЧАЮЩИХСЯ 7-9 КЛАССОВ.
СЕЗОН: 2023-2024, ТУР № 2



Самара, 2024 г.

Дорогие Друзья!

Вашему вниманию в данном релизе представлены 10 оригинальных задач двух уровней сложности – «Новичок» (уровень А), «Знаток» (уровень В). Задачи составлены в соответствии с *Перечнем вопросов, рекомендуемых Центральной предметной методической комиссией Всероссийской Олимпиады школьников по астрономии для подготовки обучающихся 7-9 классов к решению задач ее различных этапов.*

При использовании материалов релиза ссылка на документ обязательна!

Ссылка: «Условия и решения конкурсных задач ОМОА им. Ф.А. Бредихина-2024 среди обучающихся 7-9 классов. Тур № 2». – <https://sites.google.com/site/samrasolimp/>

Составитель: – *Филиппов Юрий Петрович*, научный руководитель школы, методист СРЦОД, к.ф.-м.н., доцент кафедры общей и теоретической физики Самарского национального исследовательского университета им. академика С.П. Королева.

Верстка в системе *ВТ_EX* – Филиппов Ю.П., Белозерская Л.Н.

Памятка участника ОМОА им. Ф.А. Бредихина-2024

1. Официальный сайт Астрошколы:

<https://sites.google.com/site/samrasolimp/>

2. Официальная группа в VK:

vk.com/bredikhinolimp

3. Сроки подачи решений задач ОМОА им. Ф.А. Бредихина-2024 тура № 2 на проверку:

15.02.2024-31.03.2024!!!

4. Электронный ящик ОМОА им. Ф.А. Бредихина-2024:

samrasolimp@mail.ru

5. Руководство зарегистрированного участника ОМОА им. Ф.А. Бредихина-2024:

<https://sites.google.com/site/samrasolimp/maindocs>

ИЛИ

<https://vk.com/bredikhinolimp>

УСЛОВИЯ ЗАДАЧ



Дорогие Друзья!

Прежде чем приступить к решению задач и оформлению отчета участника ОМОА им. Ф.А. Бредихина-2024, **внимательно** ознакомьтесь с «**Руководством зарегистрированного участника ОМОА им Ф.А. Бредихина-2024**»! Электронный адрес последнего указан в **Памятке участника.**

Уровень «Новичок» (уровень А)

№1. «Небесные тела и явления»

На рис. 1 представлены фотографии небесных тел и астрономических явлений.

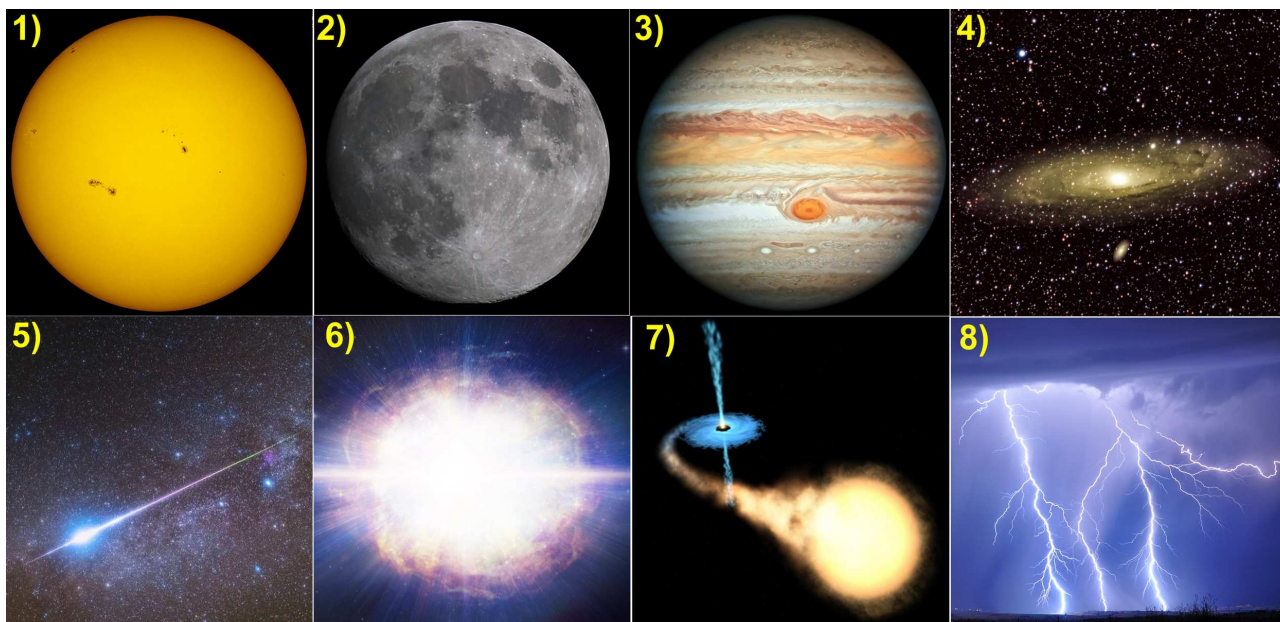


Рис. 1. Мозаика фотографий небесных объектов и явлений.

1. Установите соответствие представленных образов их названиям. Ответ представить парой: (цифра → буква). (0.5 балла за каждую правильно названную пару)

Варианты ответов:

А) Взрыв сверхновой	Б) Аккреция газа на черную дыру	В) Яркий метеор	Г) Молния
Д) Юпитер	Е) Солнце	Ж) Луна	З) Галактика Андромеды

2. Установите соответствие представленных образов следующим категориям. (0.5 балла за каждую правильно названную пару)

Варианты ответов:

А) Небесное тело	Б) Небесное явление
------------------	---------------------

3. Какие из представленных небесных тел не являются самосветящимися телами в видимом свете? (0.5 балла за каждое правильно названное тело)

4. Какие из представленных небесных явлений порождаются в атмосфере Земли? (0.5 балла за каждое правильно названное явление)

№2. «О звезде Канопус»

1. Как известно, *Канопус* – одна из ярчайших звезд ночного небосвода. С использованием лишь экваториальных координат данной звезды ($\alpha_* = 06^{\text{ч}}24^{\text{м}}$, $\delta_* = -52^{\circ}42'$) и карт звездного небосвода (см. приложение В) определите созвездие, которому она принадлежит. (1 балл)

Варианты ответов:

а) Корма	б) Компас	в) Муха
г) Телескоп	д) Южный крест	е) Киль

На копии одной из звездных карт приложения В укажите стрелкой ее положение среди звезд. (1 балл)

2. Как известно, небесный экватор делит всю небесную сферу на две полусферы. Полусфера, в которой находится северный полюс мира, называется *северной*. Вторая полусфера называется *южной* (см. рис. 2.а). Опираясь лишь на экваториальные координаты Канопуса, определите, в какой части небесной сферы располагается *противозвездная точка* Канопуса – точка небосвода, диаметрально противоположная по положению данной звезде? (1 балл)

Варианты ответов:

1. Северная полусфера	2. Южная полусфера	3. Небесный экватор
-----------------------	--------------------	---------------------

Определите экваториальные координаты этой точки. (2 балла)

3. Какому созвездию принадлежит данная точка? (1 балл)

Варианты ответов:

а) Цефей	б) Геркулес	в) Кассиопея
г) Дракон	д) Лиры	е) Лебедь

На копии одной из звездных карт приложения В укажите стрелкой ее положение среди звезд. (1 балл)

4. В какое время года условия наблюдений этой звезды являются оптимальными? Дайте развернутый ответ. (3 балла)

Варианты ответов:

1. Весна	2. Лето	3. Осень	4. Зима
----------	---------	----------	---------

Следует отметить, что условия наблюдений небесного тела считаются *оптимальными*, если данное тело наблюдается в полночь (при этом Солнце опускается максимально глубоко под горизонт, т.е. находится в *нижней кульминации*) на наибольшей высоте над горизонтом (находится в своей *верхней кульминации*). Для ответа на данный вопрос Вам может оказаться полезной диаграмма видимого годичного движения Солнца по эклиптике (см. рис. А.1 приложения А).

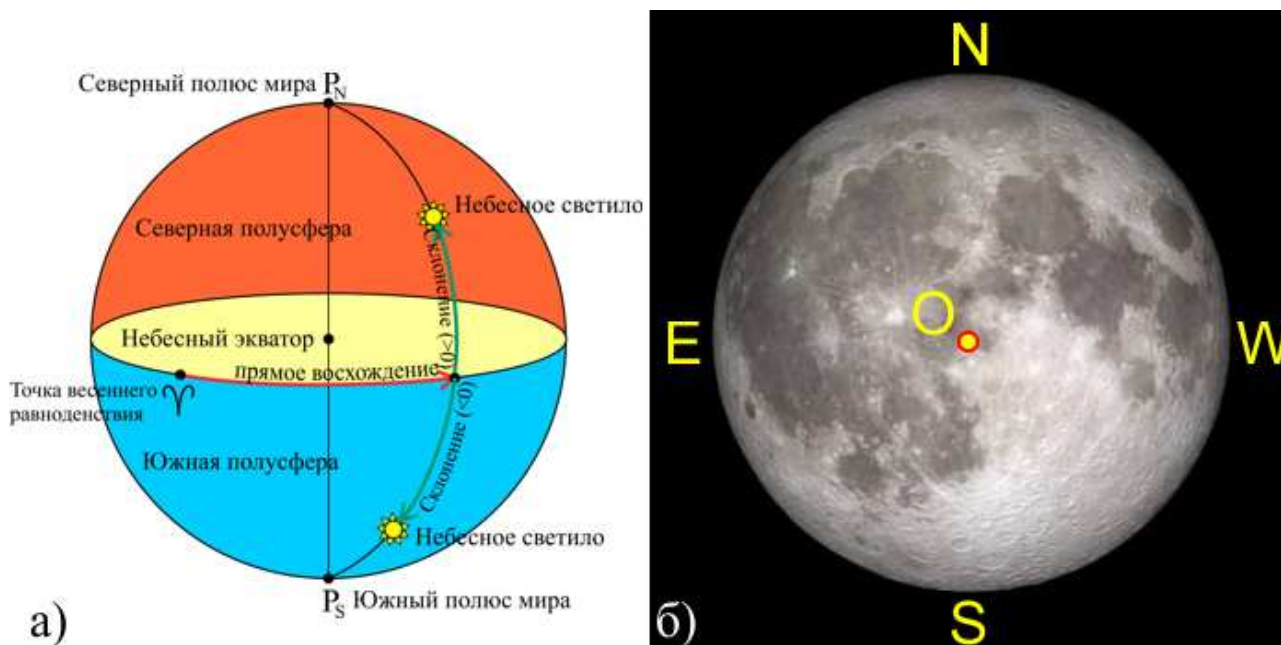


Рис. 2. К определению: а) северной и южной полусферы и экваториальных координат светила; б) видимого диска Луны с указанием направлений сторон света для жителя Самары (N – север; S – юг; E – восток; W – запад).

№3. «Луна и ее терминатор»

С территории Самарской области наблюдается Луна, при этом ее угловой диаметр равен $32'$. Ответьте на следующие вопросы.

1. В каком направлении преимущественно перемещается терминатор по диску Луны (см. рис. 2.б) в течение лунного месяца? (1 балл)

Варианты ответов:

а) $N \rightarrow S$	б) $E \rightarrow W$	в) $W \rightarrow E$
г) $S \rightarrow N$	д) $E \rightarrow S$	е) $E \rightarrow N$

2. Через какой минимальный промежуток времени повторяется прохождение терминатора через центр видимого диска Луны (точка O)? (2 балла)

Варианты ответов:

а) 27.32 сут	б) 29.53 сут	в) 1.035 сут
г) 13.66 сут	д) 14.77 сут	е) 0.52 сут

3. Чему равна угловая протяженность видимой дуги терминатора в фазе первой четверти? (1 балл)

Варианты ответов:

а) $32'$	б) $101'$	в) 32°
г) $16'$	д) $50'$	е) 16°

4. Чему равна угловая протяженность замкнутой дуги терминатора в фазе, представленной на рис. 2.б)? (2 балл)

Варианты ответов:

а) $32'$	б) $101'$	в) 32°
г) $16'$	д) $50'$	е) 16°

5. С какой линейной скоростью (км/ч) перемещается точка пересечения терминатора и лунного экватора по поверхности Луны? Следует полагать,

Планета	R_e , км	R_p , км	k
Меркурий	2439.7	2439.7	
Венера	6051.8	6051.8	
Земля	6378.1	6356.8	
Марс	3396.2	3376.2	
Юпитер	71492	66854	
Сатурн	60268	54364	
Уран	25559	24973	
Нептун	24764	24341	

Таблица 1. Значения экваториального и полярного радиусов классической планеты и ее сжатия.

что центр видимого диска Солнца расположен в плоскости лунного экватора. (3 балла)

№4. «Сжатие классических планет Солнечной системы»

В астрономии для описания степени сплюснутости небесных тел используется *сжатие*, определяемое выражением вида:

$$k = \frac{R_e - R_p}{R_e}, \quad (1)$$

здесь R_e, R_p – экваториальный и полярный радиусы небесного тела. С использованием данных табл. 1 для радиусов планет Солнечной системы,

1. Выполните расчет сжатия для всех классических планет Солнечной системы. Полученные значения занесите в последнюю колонку табл. 1. (0.5 балла за каждое правильно вычисленное значение)

2. Для какой планеты эта величина принимает: а) максимальное значение? б) минимальное значение? (0.5 + 0.5 баллов)

3. С использованием полученных результатов и справочных данных, постройте графики зависимости от гелиоцентрического расстояния или порядкового номера планеты от Солнца (для 8 указанных планет): а) сжатия планеты, б) периода осевого вращения планеты, в) плотности планеты, г) радиуса планеты. Сделайте выводы о корреляции (возможной зависимости) в поведении коэффициента сжатия и указанных параметров. (1 балл за каждый правильно построенный график; 2 балла за правильные выводы о возможной зависимости k от указанных параметров)

Уровень «Знаток» (уровень В)

№5. «Геоцентрическая орбита планеты Солнечной системы»

На рис. 3 представлена геоцентрическая траектория движения классической планеты Солнечной системы с позиции земного наблюдателя (здесь предполагается, что гелиоцентрические орбиты Земли и данной планеты являются круговыми). Определите, траектория какой именно планеты представлена на рисунке? (1 балл) Свой ответ обоснуйте математически как минимум двумя независимыми способами. (5 баллов за каждый способ с исчерпывающим доказательством)

№6. «Разрешима ли система «Земля-Луна»?»

С поверхности каких классических планет, в оптимальных условиях наблюдений можно разрешить (увидеть отдельно каждое тело) невооруженным глазом систему «Земля-Луна»? Проницающую силу человеческого глаза принять равной $+6^m$, а его угловую разрешающую способность – $1'$. (12 баллов)

№7. «Астрономическая ночь на геополюсе»

Как известно, *астрономической ночью* называется часть суток, в течение которой высота Солнца над горизонтом не превышает -18° . Определите даты начала и окончания астрономической ночи на Северном географическом полюсе? Чему равна продолжительность астрономической ночи в этой точке поверхности Земли? (14 баллов)

№8. «Галактические прятки»

Международная группа астрономов недавно обнаружила, что точно за Малым магеллановым облаком (ММО), на луче зрения распо-

ложена еще одна такая же карликовая галактика, являющаяся близнецом данной. ММО и новую галактику можно условно считать шарообразными радиуса 2.9 кпк и массы $3 \cdot 10^9 M_\odot$, содержащими по $1.5 \cdot 10^9$ звезд. Расстояние между центрами галактик оценивается в 16 кпк. Гелиоцентрическое расстояние до центра ММО (ближайшей к нам) составляет 56 кпк. Определите:

1. На сколько лет галактика-близнец видится нам более молодой, чем ММО? (1 балл)

2. Среднюю массовую плотность каждой галактики (в массах Солнца на кубический парсек и $\text{кг}/\text{м}^3$)? (2 балла)

3. Среднюю объемную концентрацию звезд каждой галактики (в звездах на кубический парсек)? (2 балла)

Полагая, что данные галактики являются взаимодействующими и движутся по орбитам, близким к круговым, содержащим луч зрения земного наблюдателя, определите:

4. Период обращения каждой галактики вокруг их общего центра масс и орбитальную скорость центра масс каждой галактики? (3 балла)

5. Через какой минимальный промежуток времени данные галактики будут расположены в небе земного наблюдателя на максимальном угловом расстоянии? Чему оно будет равно? (3 балла)

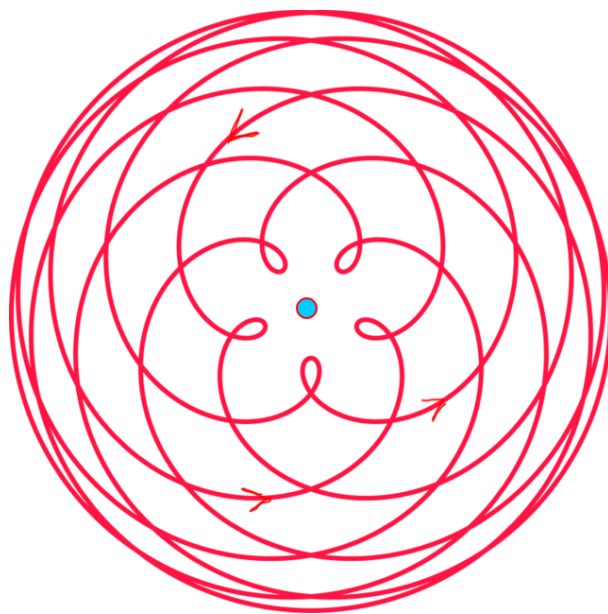


Рис. 3. К определению геоцентрической орбиты планеты Солнечной системы.

6. Чему будет равна интегральная звездная величина данной пары галактик, если светимости данных галактик одинаковы и сегодняшняя видимая звездная величина ММО составляет $+1.97^m$? Следует считать, что гелиоцентрическое расстояние центра масс пары галактик остается постоянным. (3 балла)

№9. «Галилеевы спутники в движении»

На рисунке представлен коллаж фотографий Юпитера и его двух галилеевых спутников.

1. Оцените промежуток времени, в течение которого велась съемка? (4 балла)

2. Оцените расстояния, которые прошли за время съемки спутники S_1 и S_2 . (2 балла)

3. Определите названия спутников S_1 и S_2 . (2 балла)

4. Оцените время транзита спутника S_1 по диску центральной планеты? (3 балла)

5. Произошло ли в последствии покрытие спутника S_2 Юпитером? Если да, то спустя какое время после получения последнего кадра оно началось? Какова была при этом продолжительность покрытия? (3 балла)

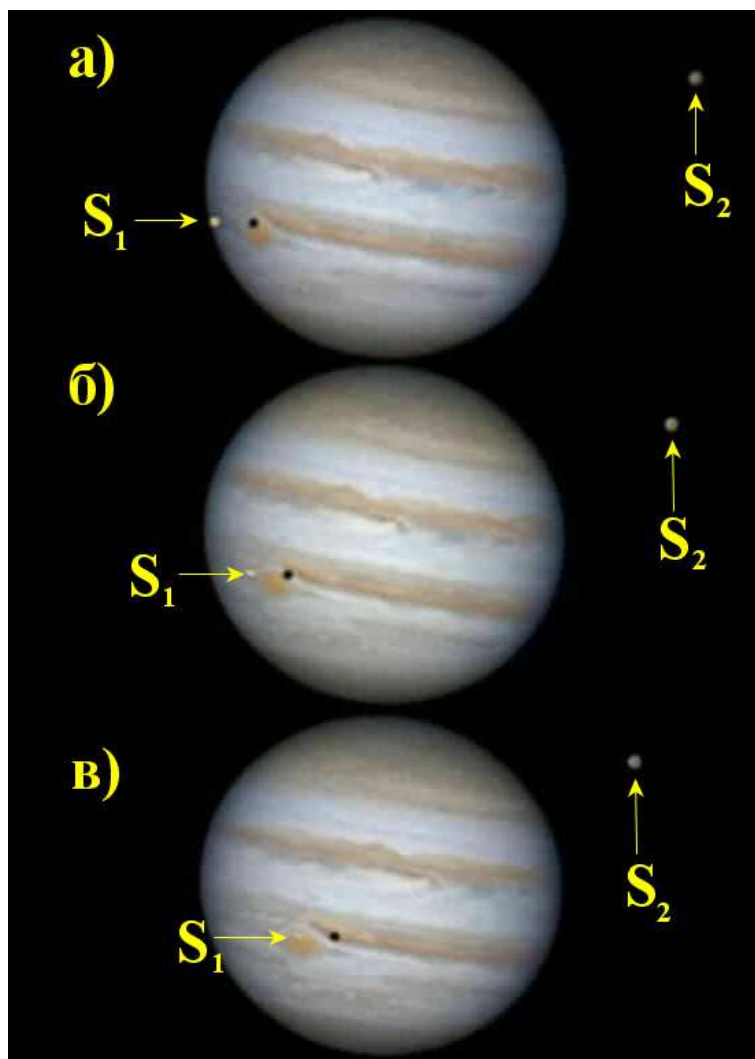


Рис. 4. Коллаж фотографий Юпитера и его галилеевых спутников.

Дифференциальным характером вращения Юпитера следует пренебречь. Орбиты галилеевых спутников считать круговыми.

№10. «Луна и коллаж: была или небылица»

На рис. 5 представлен коллаж, полученный простым наложением кадров. Кадр с городской панорамой был получен с помощью цифровой зеркальной камеры с объективом, фокусное расстояние которого $f_1 = 18$ мм. Кадр с Луной был получен с помощью той же камеры и объективом-телескопом с фокусным расстоянием $f_2 = 1200$ мм. Ответьте на следующие вопросы:



Рис. 5. К определению коллажа "Фантастическая Луна над ночным городом". Автор: Александр Андреев.

1. Возможно ли наблюдение Луны в такой фазе в действительности над ночным городом? Если возможно, то опишите условия, при которых это возможно. Если это невозможно, то укажите на ошибку, которую допустил автор при создании коллажа. (2 балла)

2. Предположим, что Луна приблизилась к Земле (в результате внешнего воздействия) и ее угловые размеры в точности соответствуют представленному образу на фотографии. Оцените угловой диаметр Луны в этом случае. (2 балла)

3. Определите радиус новой орбиты Луны и период ее обращения вокруг центра масс системы «Земля-Луна», если полагать, что ее новый угловой диаметр соответствует ее наблюдению в подлунной точке. (4 балла)

4. Какое количество раз будет наблюдаться восход Луны над горизонтом в течение одних земных суток, если полагать, что продолжительность последних останется прежней. Чему при этом будет равно время пребывания Луны над горизонтом? (5 баллов)

5. С какой периодичностью будут повторяться лунные приливы на поверхности Земли? (2 балла)

Следует полагать орбиты Земли и Луны круговыми, лежащими в одной плоскости. Продолжительность звездного года считать неизменной.

РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ



Уровень «Новичок» (уровень А)

№1. «Небесные тела и явления»

1. Очевидно, под цифрой «1» представлен образ Солнца, под цифрой «2» – Луны, под цифрой «3» – Юпитера, под цифрой «4» – Галактики Андромеды, под цифрой «5» – яркий метеор, под цифрой «6» – взрыв сверхновой, под цифрой «7» – аккреция газа на черную дыру и под цифрой «8» – молния. Т. о., имеем следующие пары: (1,Е); (2,Ж); (3,Д); (4,З); (5,В); (6,А); (7,Б); (8,Г). (0.5 балла за каждую правильно названную пару)

2. Под **небесным телом** понимается объект (тело), имеющий материальную основу, существующий длительное время в космосе. Очевидно, к небесным телам здесь относятся Солнце, Луна, Юпитер и Галактика Андромеды (последняя представляет собой огромную совокупность тел).

Под **небесным явлением** понимается процесс, протекающий в космосе или в атмосфере Земли и наблюдаемый на земном небосводе, являющийся следствием различных взаимодействий небесных тел и их частей между собой с участием электромагнитного и гравитационного полей. К небесным явлениям здесь относятся яркий метеор, взрыв сверхновой, аккреция газа на черную дыру и молния. Т. о., имеем следующие пары: (1,А); (2,А); (3,А); (4,А); (5,Б); (6,Б); (7,Б); (8,Б). (0.5 балла за каждую правильно названную пару)

3. Не являются самосветящимися телами в видимом свете Луна и Юпитер. (0.5 балла за каждое правильно названное тело)

4. Атмосферой Земли порождаются явления метеора и молнии. Напомним, что

Метеор – это атмосферное метеорологическое явление, обусловленное вхождением в атмосферу Земли малого космического тела и сопровождающееся комплексом процессов (нагрева, горения, плавления, сублимации, деструкции и др), в том числе и его свечением, наблюдаемым с ее поверхности как световая вспышка.

Молния – это атмосферное метеорологическое явление, представляющее собой электрический искровой разряд в газовой среде и сопровождающееся яркой вспышкой света. (0.5 балла за каждое правильно названное явление)

№2. «О звезде Канопус»

1. С использованием экваториальных координат звезды и карты В.5 приложения В настоящего релиза легко убедиться в том, что Канопус принадлежит созвездию Киля. (1 балл) Копия звездной карты В.5 приложения В с указанием положения Канопуса стрелкой среди звезд, представлена на рис. 6. (1 балл)

2. Противозвездная точка Канопуса должна располагаться в точке, диаметрально противоположной по отношению к самой звезде. Значит ее коор-

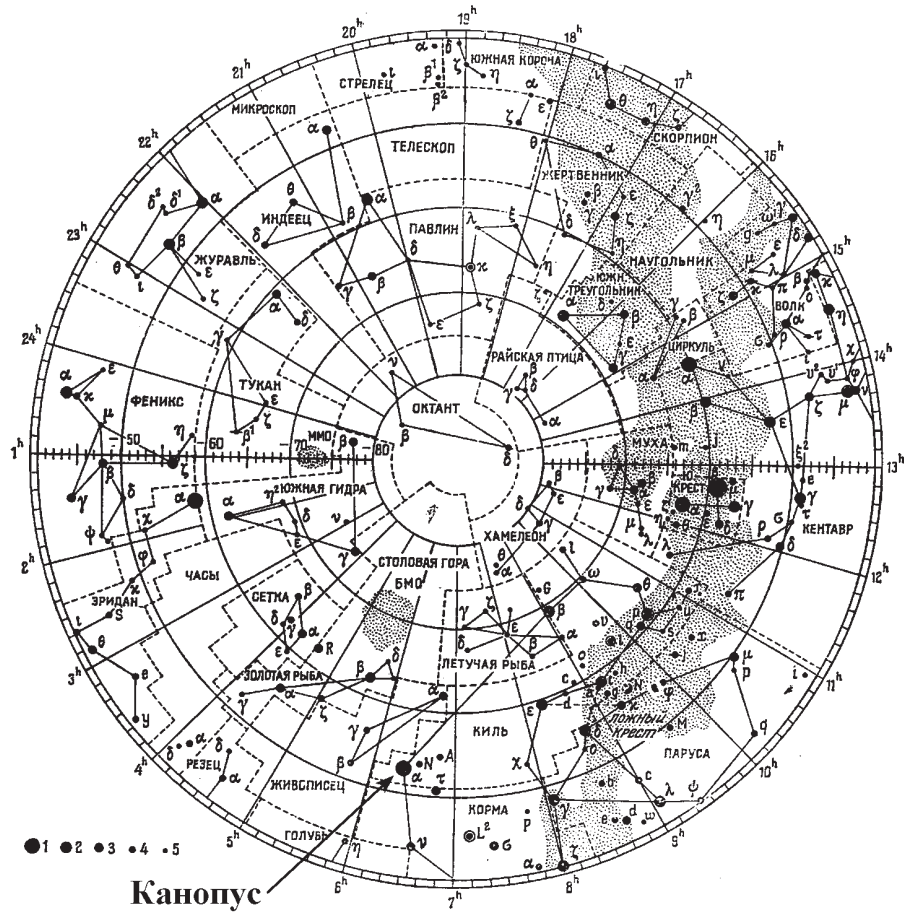


Рис. 6. К определению положения Канопуса среди прочих звезд.

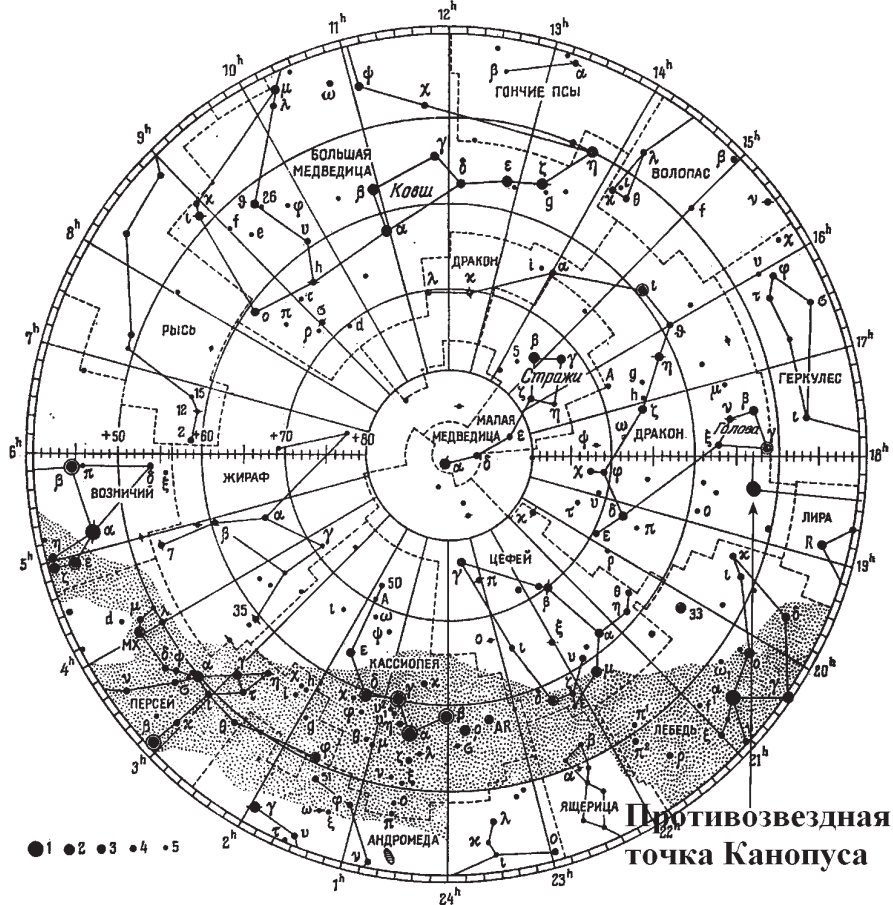


Рис. 7. К определению положения противозвездной точки Канопуса.

динаты должны быть такими (2 балла):

$$\alpha_p = \alpha_* + 12^h = 18^h 24^m, \quad \delta_p = -\delta_* = +52^\circ 42'.$$

Знак «+» у склонения точки явно указывает на принадлежность данной точки северной полусфере небосвода. (1 балл)

3. С использованием карты В.1 приложения В можно легко убедиться в том, что данная точка принадлежит созвездию Дракона. Копия данной звездной карты с указанием стрелкой положения противозвездной точки Канопуса среди звезд представлена на рис. 7. (1 балл)

4. Заметим, что если Солнце и данная звезда находятся в разных кульминациях, значит они располагаются в противоположных сторонах небосвода, следовательно их прямые восхождения (см. подсказки на рис. 2.а) должны отличаться на 12 часов. Значит, прямое восхождение Солнца в момент достижения оптимальных условий наблюдений звезды будет

$$\alpha_{\odot} = \alpha_* + 12^h = 18^h 45^m.$$

По диаграмме видимого движения Солнца по эклиптике (см. рис. А.1 приложения А) определяем положение Солнца – оно должно находиться в созвездии Стрельца в начале января, т. е. искомое время года – зима. (3 балла)

№3. «Луна и ее терминатор»

1-2. Как известно, *терминатор* – это линия, разделяющая освещенную и неосвещенную Солнцем части видимого диска небесного тела. В течение лунного месяца терминатор проходит видимый диск Луны 2 раза, двигаясь преимущественно с запада на восток (т. е. $W \rightarrow E$). (1 балл)

Следовательно, минимальный промежуток времени, через который терминатор проходит центр видимого диска равен половине синодического месяца, т.е. через 14.77 суток. (2 балла)

3. В фазе первой четверти терминатор расположен вдоль диаметра видимого диска Луны, при этом его угловая протяженность равна угловому диаметру видимого диска, т. е. $L'' = D'' = 32'$. (1 балл)

4. На рис. 2.б) Луна представлена в фазе полнолуния, при этом ее терминатор является окружностью, расположенной строго вдоль границы ее видимого диска. Значит угловая протяженность терминатора равна угловой "длине" окружности, т.е. $L'' = \pi D'' = 101'$. (2 балла)

5. Поскольку, согласно условию задачи, Солнце расположено в плоскости лунного экватора, то терминатор Луны должен быть перпендикулярен ему. Следовательно, скорость данной точки направлена строго вдоль экватора Луны, а ее скорость равна скорости с которой терминатор перемещается вдоль экватора. Период обращения терминатора, очевидно, равен синодическому

Планета	r_p , а.е.	R_e , км	R_p , км	k , $\times 10^{-3}$	T_p , сут	\mathfrak{M}_p , кг	ρ_p , кг/м ³
Меркурий	0.3871	2440.5	2438.3	0.902	58.785	$3.301 \cdot 10^{23}$	5426
Венера	0.7233	6051.8	6051.8	0.000	243.69	$4.867 \cdot 10^{24}$	5243
Земля	1.000	6378.1	6356.8	3.364	0.9973	$5.972 \cdot 10^{24}$	5513
Марс	1.5237	3396.2	3376.2	5.924	1.0260	$6.417 \cdot 10^{23}$	3934
Юпитер	5.2028	71492	66854	69.375	0.4135	$1.898 \cdot 10^{27}$	1326
Сатурн	9.5388	60268	54364	108.60	0.4440	$5.683 \cdot 10^{26}$	687
Уран	19.191	25559	24973	23.465	0.7183	$8.681 \cdot 10^{25}$	1270
Нептун	30.061	24764	24341	17.378	0.6713	$1.024 \cdot 10^{26}$	1638

Пояснения: r_p – гелиоцентрическое расстояние планеты, R_e, R_p – экваториальный и полярный радиусы планеты соответственно, k – сжатие планеты, T_p – сидерический период вращения планеты вокруг своей оси, \mathfrak{M}_p – масса планеты, ρ_p – средняя массовая плотность.

Таблица 2. Значения параметров планет, используемых и полученных в расчетах. месяцу, значит искомая величина будет

$$V = \frac{2\pi \mathfrak{R}_\zeta}{S_\zeta} = 15.4 \text{ км/с},$$

здесь $\mathfrak{R}_\zeta, S_\zeta$ – радиус Луны и ее синодический месяц соответственно. (3 балла)

№4. «Сжатие классических планет Солнечной системы»

1. Выполним численный расчет сжатия по формуле (1) для всех классических планет Солнечной системы. Численные значения данного параметра представлены в 5-ом столбце табл. 2. (0.5 балла за каждое правильно вычисленное значение)

2. Из представленных численных значений следует, что максимальным сжатием обладает Сатурн (0.1086) (0.5 балла), а минимальным – Венера (0.000). (0.5 балла)

3. На рис. 8 представлены кривые зависимостей от порядкового номера планеты (N) и ее гелиоцентрического расстояния (r_p): а) коэффициента сжатия тела планеты k , б) ее экваториального радиуса, в) сидерического периода обращения планеты вокруг своей оси и г) ее средней массовой плотности. (1 балл за каждый правильно построенный график)

На рис. 8.а) бросается в глаза широкий максимум, расположенный в окрестности Юпитера и Сатурна. На рис. 8.б) в том же месте расположен максимум зависимости экваториального радиуса планеты. Следовательно можно сделать вывод, что чем больше экваториальный радиус планеты, тем больше ее сжатие. Действительно, за растяжение планеты вдоль плоскости ее экватора отвечает центробежная сила, которая пропорциональна расстоянию от оси вращения до точки наблюдения, в нашем случае экваториальному радиусу планеты.

На рис. 8.в) отчетливо просматривается минимум кривой для сидерического периода вращения вокруг своей оси. Напрашивается вывод, что чем

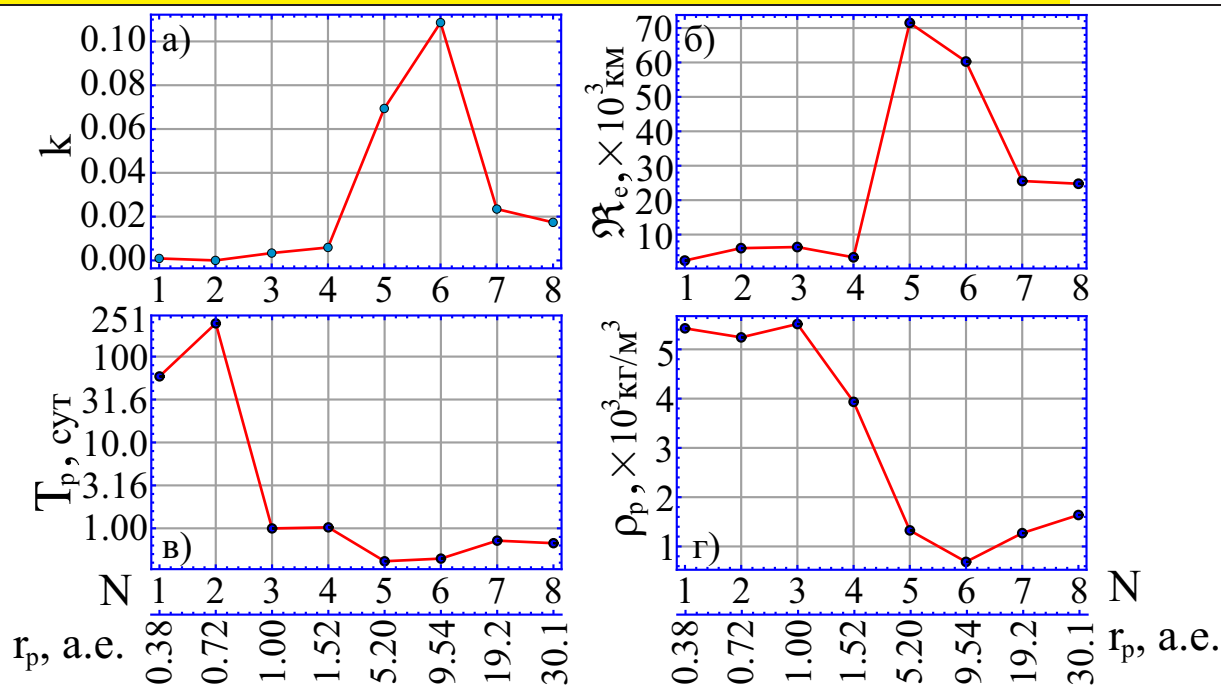


Рис. 8. К определению зависимости от порядкового номера планеты (N) и ее гелиоцентрического расстояния (r_p): а) коэффициента сжатия тела планеты k , б) ее экваториального радиуса, в) сидерического периода обращения планеты вокруг своей оси и г) ее средней массовой плотности.

меньше период осевого вращения планеты, тем больше сжатие планеты. Та же центробежная сила обратно пропорциональна квадрату периода осевого вращения. Значит чем меньше период, тем больше сила, а значит больше сжатие планеты.

На рис. 8.г) отчетливо просматривается минимум кривой для средней массовой плотности планеты в окрестности положений Юпитера и Сатурна. Из последнего факта напрашивается менее очевидный вывод, что *чем меньше плотность вещества, тем больше сжатие планеты.* Действительно, вещество с большей плотностью все больше напоминает твердое тело, которое сильно сопротивляется внешним деформациям, обусловленным действием силы притяжения тела планеты и центробежной силы. Тела с меньшей средней плотностью более "гибкие" к изменению формы. (2 балла за правильные выводы о возможной зависимости k от указанных параметров)

Уровень «Знаток» (уровень В)

№5. «Геоцентрическая орбита планеты Солнечной системы»

На рис. 3 представлена геоцентрическая орбита Венеры. (1 балл) Выполним идентификацию данной классической планеты Солнечной системы двумя альтернативными способами.

Способ №1. Геометрический.

1. Заметим, что у данной планеты есть пять ближайших точек к геометрическому центру данной картины (где находится Земля). Определим по рисунку минимальное расстояние до планеты $x_{\min} = 11$ мм. Определим расстояние от Земли до наиболее далеких точек орбиты планеты $x_{\max} = 68.5$ мм. Найдем

отношение полученных величин: (2 балла)

$$\eta = \frac{x_{\max}}{x_{\min}} = 6.227.$$

2. С другой стороны, данную величину можно записать как отношение максимального расстояния $a_p + a_{\oplus}$ между планетами (здесь и далее a_p, a_{\oplus} – радиусы гелиоцентрических круговых орбит планеты и Земли соответственно), достигаемого либо в верхнем соединении (в случае нижних планет), либо в соединении (в случае верхних планет) к минимальному расстоянию между Землей и планетой $|a_p - a_{\oplus}|$ (в случае нижней планеты, достигаемого в конфигурации нижнего соединения, в случае верхней планеты – в противостоянии) (1 балл):

$$\eta = \frac{a_p + a_{\oplus}}{|a_p - a_{\oplus}|}, \Rightarrow a_p = a_{\oplus} \frac{1 \pm \eta}{\pm \eta - 1}, \quad (2)$$

здесь знак «+» соответствует верхней планете, а знак «-» – нижней планете. Выполняя численный расчет, получаем два возможных значения: $a_p^{(1)} = 0.723 \times a_{\oplus} = 0.723$ а.е., $a_p^{(2)} = 1.383 \times a_{\oplus} = 1.383$ а.е. (1 балл) Используя справочные данные таблицы А.6 приложения А, становится очевидным, что первое значение с точностью до тысячных а.е. соответствует Венере, второе значение относительно близко к радиусу круговой орбиты Марса, но все же существенно отличается от последнего значения (более чем на 0.14 а.е.). В итоге, приходим к однозначному заключению, что на рис. 3 представлена орбита Венеры. (1 балл)

Способ №2. Временной.

1. Заметим, что на данной картине отчетливо просматриваются 5 петель попятного движения, которые образует симметричную пятиконечную звезду. Любая классическая планета демонстрирует попятное движение лишь 1 раз в течение синодического периода. В силу симметричности звезды, спустя пять синодических периодов, планета возвращается в исходное положение относительно звезд, а значит условия ее видимости должны повторяться с точки зрения земного наблюдателя в одни и те же дни года. Следовательно, промежуток времени в 5 синодических периодов планеты должен быть кратен земному году, т.е. (2 балла)

$$5S = N T_{\oplus}, \Rightarrow \frac{5T_{\oplus} T_p}{\pm T_p \mp T_{\oplus}} = N T_{\oplus}, \Rightarrow T_p = \frac{\pm N}{\pm N - 5} T_{\oplus}, \quad (3)$$

здесь знак «+» соответствует верхней планете, а знак «-» – нижней планете.

2. Выполним численный расчет сидерического периода в случае внутренней и внешней планеты для различных значений N . Результаты вычислений представлены в табл. 3. Заметим, что в случае внутренней планеты набор

Внутренняя планета		Внешняя планета		Классическая планета	
N	T_p/T_{\oplus}	N	T_p/T_{\oplus}	Планета	T_p/T_{\oplus}
1	0.1666	6	6.000	Меркурий	0.241
2	0.2857	7	3.500	Венера	0.615
3	0.3750	8	2.667	Земля	1.000
4	0.4444	9	2.250	Марс	1.880
5	0.5000	10	2.000	Юпитер	11.87
6	0.5455	11	1.833	Сатурн	29.46
7	0.5833	12	1.714	Уран	84.07
8	0.6154	13	1.625	Нептун	164.8
9	0.6429	14	1.556	–	–

Таблица 3. Значения отношения T_p/T_{\oplus} для различных значений N в случае внутренних/внешних планет, для 8 классических планет.

возможных значений параметра N начинается с «1», а в случае верхних планет – с $N = 6$ (поскольку синодический период верхней планеты может быть лишь больше звездного года Земли). (2 балла)

Из детального сравнения значений искомого отношения T_p/T_{\oplus} в случае внутренних/внешних планет с действительными значениями этого отношения в случае восьми классических планет, приходим к однозначному заключению, что наилучшее согласование (с точностью до тысячных долей) достигается в случае Венеры (выделены жирным шрифтом). (1 балл)

№6. «Разрешима ли система «Земля-Луна»?»

1. Чтобы с поверхности какой-либо классической планеты в оптимальных условиях наблюдений можно было разрешить невооруженным глазом систему «Земля-Луна», необходимо выполнение 2-х условий:

А) Максимальное видимое угловое расстояние между Луной и Землей должно быть не меньше угловой разрешающей способности человеческого глаза $\beta_y = 1'$. (1 балл)

В) Видимая звездная величина Луны не должна быть больше проникающей силы человеческого глаза $m_y = +6^m$. Следует учесть, что как геометрическое, так и сферическое альbedo Земли значительно больше соответствующих значений для Луны, поэтому более тусклым объектом в данной паре при любой взаимной ориентации данных тел по отношению к Солнцу и наблюдателю является Луна. (1 балл)

Заметим также, что оптимальными условиями при наблюдении данной пары тел с поверхности:

I. Нижних планет является их *противостояние*, в котором фаза Луны равна единице, то есть она будет видна в фазе полнолуния. (1 балл)

II. При наблюдении этой пары с верхних планет оптимальной конфигурацией для наблюдения является наибольшая элонгация. При этом Луна будет видна в фазе первой/последней четверти с значением фазы $\Phi_c = 0.5$. (1 балл)

2. Определим максимальное расстояние от центра отрезка, соединяющего центры Земли и Луны, до стороннего наблюдателя, на котором выпол-

няется условие в предельном случае: *угловое расстояние между Луной и Землей в точности равно угловой разрешающей способности человеческого глаза* $\beta_y = 1'$. Для этого заметим, что максимально линейное расстояние между Землей и Луной достигается, когда последняя находится в своем апогее, при этом расстояние между телами составляет величину: $\Delta_\zeta = a_\zeta (1 + \varepsilon_\zeta)$, здесь $a_\zeta, \varepsilon_\zeta$ – большая полуось и эксцентриситет орбиты Луны, определенной относительно центра Земли. Искомое угловое расстояние между телами, когда последние лежат в картинной плоскости для стороннего наблюдателя, определяется выражением (2 балла):

$$d''_{\max} = \frac{a_\zeta (1 + \varepsilon_\zeta)}{\Delta_1} 3438' = 1', \Rightarrow$$

$$\Delta_1 = \frac{a_\zeta (1 + \varepsilon_\zeta)}{1'} 3438' = 1.394 \cdot 10^9 \text{ м} = 9.32 \text{ а.е.} \quad (4)$$

3. Определим максимальное селеноцентрическое расстояние до стороннего наблюдателя, которому Луна будет видна как объект с звездной величиной $m_y = +6^m$ в фазе полнолуния. Заметим, что в фазе полнолуния видимая звездная величина Луны с поверхности Земли составляет $m_\zeta^{(1)} = -12.7^m$. Для этого воспользуемся формулой Погсона и законом обратных квадратов для освещенности (1 балл):

$$m_y - m_\zeta^{(1)} = -2.5 \lg \left(\frac{E_y}{E_\zeta} \right), \quad \frac{E_y}{E_\zeta} = \frac{a_\zeta^2}{\Delta_2^2}, \Rightarrow$$

$$\Delta_2 = a_\zeta 10^{0.2(m_y - m_\zeta^{(1)})} = 2.112 \cdot 10^9 \text{ м} = 14.12 \text{ а.е.} \quad (5)$$

4. Определим максимальное селеноцентрическое расстояние до стороннего наблюдателя, которому Луна будет видна как объект с звездной величиной $m_y = +6^m$ в фазе первой/последней четверти. Заметим, что в данных фазах видимая звездная величина Луны с поверхности Земли составляет $m_\zeta^{(2)} = -10.0^m$. Для этого вновь воспользуемся формулой Погсона и законом обратных квадратов для освещенности (1 балл):

$$m_y - m_\zeta^{(2)} = -2.5 \lg \left(\frac{E_y}{E_\zeta} \right), \quad \frac{E_y}{E_\zeta} = \frac{a_\zeta^2}{\Delta_2^2}, \Rightarrow$$

$$\Delta_3 = a_\zeta 10^{0.2(m_y - m_\zeta^{(2)})} = 6.092 \cdot 10^8 \text{ м} = 4.07 \text{ а.е.} \quad (6)$$

Подведем итог относительно условий видимости Луны из малой окрестности нижней и верхней планеты:

4.1. Чтобы пара «Земля-Луна» была разрешена из малой окрестности нижней планеты необходимо, чтобы расстояние (Δ) от наблюдателя до данной пары не превышало значения:

$$\Delta_{\max}^{(1)} = \min\{\Delta_1, \Delta_2\} = 9.32 \text{ а.е.} \quad (7)$$

Опираясь на справочные данные приложения А, легко прийти к заключению, что указанное ограничение гораздо больше гелиоцентрического расстояния Меркурия и Венеры в любых точках их орбит. Значит пара «Земля-Луна» будет разрешена с поверхности Меркурия и Венеры. (2 балла)

4.2. Чтобы пара «Земля-Луна» была разрешена из малой окрестности верхней планеты необходимо, чтобы расстояние (Δ) от наблюдателя до данной пары не превышало значения:

$$\Delta_{\max}^{(2)} = \min\{\Delta_1, \Delta_3\} = 4.07 \text{ а.е.} \quad (8)$$

Опираясь на справочные данные приложения А, легко прийти к заключению, что указанное ограничение гораздо больше гелиоцентрического расстояния Марса в любых точках их орбит. Значит пара «Земля-Луна» будет разрешена с поверхности Марса. (1 балл)

Вопрос о возможности разрешения данной пары из малой окрестности Юпитера требует дополнительного исследования. Определим минимально возможное геоцентрическое расстояние Юпитера, при котором Земля находится в наибольшей элонгации. Очевидно, данная ситуация будет достигаться в случае, когда Юпитер находится в своем перигелии, а Земля – в афелии. Тогда искомое расстояние будет

$$\Delta_J^{(\min)} = \sqrt{(a_J(1 - \varepsilon_J))^2 - (a_{\oplus}(1 + \varepsilon_{\oplus}))^2} = 4.846 \text{ а.е.} > \Delta_{\max}^{(2)}.$$

Следовательно, из окрестностей Юпитера данную пару разрешить невозможно невооруженным глазом в оптимальных условиях наблюдений. (1 балл)

Таким образом, пара «Земля-Луна» может быть разрешена лишь из малой окрестности планет земной группы: Меркурия, Венеры и Марса.

№7. «Астрономическая ночь на геополюсе»

1. Воспользуемся формой для высоты Солнца со склонением δ_{\odot} в верхней кульминации, учитывая, что широта Северного географического полюса $\varphi_N = +90^\circ$ (2 балла):

$$h_{\max} = 90^\circ - \varphi_N + \delta_{\odot} = \delta_{\odot}, \text{ при } h_{\max} = -18^\circ, \Rightarrow \delta_{\odot} = -18^\circ. \quad (9)$$

Т. о., на момент начала и окончания астрономической ночи склонение истинного солнца должно быть $\delta_{\odot} = -18^\circ$. (1 балл)

Расчет дат начала и окончания астрономической ночи можно проводить с разной степенью точности. Рассмотрим далее приближенный и точный методы определения даты, когда склонение Солнца принимает заданное значение.

2. Приближенный метод (для обучающихся 7-8 классов) определения даты календарного года для заданного значения склонения Солнца. При движении Солнца по эклиптике в течение года, его склонение изменяется неравномерно. Возможные значения скорости изменения ($\Delta\delta_{\odot}/\Delta t$) склонения Солнца в разные промежутки времени года определяется в табл. 4. (3 балла)

$\Delta\delta_{\odot}/\Delta t$, град/сут	0.4	0.3	0.1
ΔT , сут	18.02÷19.04; 24.08÷23.10	20.04÷20.05; 21.07÷23.08; 24.10÷21.11; 22.01÷17.02	21.05÷20.07; 22.11÷21.01

Таблица 4. К определению возможных значений скорости ($\Delta\delta_{\odot}/\Delta t$) изменения склонения Солнца и соответствующих промежутков ΔT времени года.

Напомним, что в дни равноденствий склонение Солнца равно нулю. Из таблицы видно, что в промежутках времени 18.02÷20.03; 23.09÷23.10 скорость изменения склонения Солнца составляет значение $0.4^{\circ}/\text{сут}$, следовательно 18.02 и 23.10 склонение Солнца уже будет: $\delta_{\odot}^{(1)} = -0.4^{\circ}/\text{сут} \cdot 30 \text{ сут} = -12^{\circ}$. (2 балла)

Далее в промежутках времени 24.10÷21.11 и 22.01÷17.02 скорость изменения склонения Солнца составляет значение $0.3^{\circ}/\text{сут}$. До значения $\delta_{\odot} = -18^{\circ}$ не хватает еще -5° . Тогда необходимое количество суток можно определить из уравнения: $-5^{\circ} = -0.3^{\circ}/\text{сут} \cdot N$, откуда $N = 16.7 \text{ сут}$ (2 балла), значит искомыми датами являются 01.02 и 09.11. (2 балла) Продолжительность астрономической ночи составляет: 21 сут(ноябрь) + 31 сут(декабрь)+31 сут(январь) = 83 сут. (2 балла)

3. Точный метод (для обучающихся 9 классов)

определения даты календарного года для заданного значения склонения Солнца. Рассмотрим сферический треугольник образованный небесным экватором, эклипстикой и кругом склонения светила (см. рис. 9). (2 балла) Воспользуемся теоремой синусов для треугольника (2 балла):

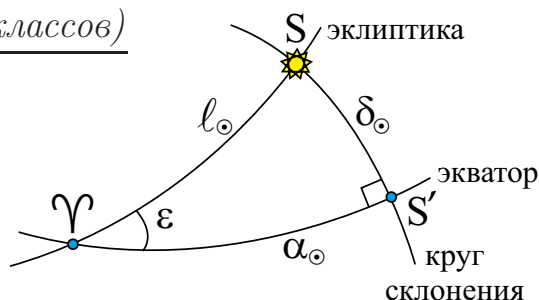


Рис. 9. К определению сферического треугольника $\Delta_S \Upsilon S S'$.

$$\sin \varepsilon \cdot \sin l_{\odot} = \sin 90^{\circ} \cdot \sin \delta_{\odot}, \Rightarrow \sin \delta_{\odot} = \sin l_{\odot} \sin \varepsilon, \quad (10)$$

здесь δ_{\odot} – склонение Солнца, $\varepsilon = 23^{\circ}26'$ – угол между экватором и эклипстикой; l_{\odot} – эклиптическая долгота Солнца, отсчитываемая от точки равноденствия. Можно полагать, что сама долгота изменяется равномерно, следовательно (2 балла)

$$l_{\odot} = \omega_{\odot} t, \quad \text{где } \omega_{\odot} = \frac{2\pi}{T_{\odot}}, \quad (11)$$

T_{\odot} – тропический год. Из (10) и (11) следует, что (1 балл)

$$t = \frac{T_{\odot}}{2\pi} \arcsin \left[\frac{\sin \delta_{\odot}}{\sin \varepsilon} \right]. \quad (12)$$

При $\delta_{\odot} = -18^{\circ}$ получаем за $t = 51.7 \text{ сут}$ (1 балл) до дня весеннего равноденствия и спустя после осеннего равноденствия наступают искомые сутки. Т. о., получаем следующие даты 27.01 и 13.11. (2 балла) Продолжительность астрономической ночи составляет: 17 сут(ноябрь) + 31 сут(декабрь)+26 сут(январь) = 74 сут. (1 балла)

Отметим, что приближенный метод дает лишь оценочные значения продолжительности астрономической ночи и искомым дат.

№8. «Галактические прятки»

1. Галактика-близнец видится нам более молодой на столько, насколько свет от этой галактики идет к нам дольше, чем от ММО. Определим это время. Заметим, что обе галактики сидят на луче зрения, и близнец дальше другой от нас чем ММО на $\Delta r = 16$ кпк или 52160 св. лет. Поскольку свет за 1 тропический год проходит один световой год, значит близнеца ММО мы видим более молодым на 52160 лет. (1 балл)

2. Поскольку тела галактик можно моделировать шарами, то среднюю массовую плотность каждой галактики можно представить в виде (2 балла):

$$\rho_G = \frac{\mathfrak{M}_G}{\frac{4}{3}\pi \mathfrak{R}_G^3} = 2.94 \cdot 10^{-2} \mathfrak{M}_\odot / \text{пк}^3 = 1.987 \cdot 10^{-21} \text{ кг/м}^3. \quad (13)$$

3. Средняя объемная концентрация звезд каждой галактики есть (2 балла)

$$n_G = \frac{N_G}{\frac{4}{3}\pi \mathfrak{R}_G^3} = 1.47 \cdot 10^{-2} \text{ звезд/пк}^3. \quad (14)$$

4. Поскольку данные галактики являются взаимодействующими и движутся по орбитам, близким к круговым, содержащим луч зрения земного наблюдателя, то радиус орбиты каждой галактики есть $\Delta r/2 = 8$ кпк. Далее воспользуемся 2-м законом Ньютона и законом всемирного тяготения для описания движения данной пары галактик (2 балла):

$$\mathfrak{M}_G \frac{V^2}{\Delta r/2} = \frac{G \mathfrak{M}_G^2}{\Delta r^2}, \Rightarrow V = \sqrt{\frac{G \mathfrak{M}_G}{2\Delta r}} = 20.1 \text{ км/с}. \quad (15)$$

Последняя величина есть орбитальная скорость центра масс одной из галактик. Период обращения одной из галактик относительно общего центра масс можно определить по формуле (1 балл):

$$P = \frac{2\pi(\Delta r/2)}{V} = 2.448 \cdot 10^9 \text{ лет}. \quad (16)$$

5. Очевидно, чтобы галактики были расположены в небе земного наблюдателя на максимальном угловом расстоянии необходимо, чтобы они повернулись относительно общего центра масс на 90° , что может произойти лишь спустя время $t_0 = P/4 = 612$ млн лет. (1 балл) При этом максимальное угловое расстояние будет (2 балла):

$$d''_{\max} = 2 \arctg \left[\frac{\Delta r/2}{r_{\text{ММО}} + \Delta r/2} \right] = 14.25^\circ, \quad (17)$$

здесь $r_{\text{ММО}} = 56$ кпк.

6. Если светимости данных галактик одинаковы, то должны быть равны и освещенности, ими создаваемые, при условии, что галактики равноудалены от наблюдателя. Пусть E_0 – освещенность, создаваемая ММО в настоящий момент времени у поверхности Земли. Через промежуток времени t_0 данные галактики будут равноудалены от Земли, следовательно их освещенности у ее поверхности будут одинаковые и равны E . Воспользуемся формулой Погсона и законом обратных квадратов для освещенности (3 балла):

$$m - m_0 = -2.5 \lg \left(\frac{2E}{E_0} \right), \quad \frac{E}{E_0} = \left(\frac{r_{ММО}}{\sqrt{(r_{ММО} + \Delta r/2)^2 + (\Delta r/2)^2}} \right)^2, \Rightarrow$$

$$m = m_0 + 5 \lg \left(\frac{\sqrt{(r_{ММО} + \Delta r/2)^2 + (\Delta r/2)^2}}{\sqrt{2} r_{ММО}} \right) = 1.52^m. \quad (18)$$

При вычислении расстояния до ММО и ее близнеца через время t_0 было учтено, что ММО должно удалиться вдоль луча зрения на расстояние $\Delta r/2$ от наблюдателя и сместиться в картинной плоскости на величину $\Delta r/2$. Из последнего результата следует, что данная пара галактик через 612 млн лет будет выглядеть ярче, чем сегодня ММО.

№9. «Галилеевы спутники в движении»

1. Для оценки промежутка времени, в течение которого велась съемка, заметим, что на видимой части диска Юпитера зафиксирована его главная достопримечательность – Большое красное пятно (БКП). От кадра к кадру заметно изменение его положения на диске. Далее рассмотрим вспомогательный рис. 10.а)-в), демонстрирующий изменение положения БКП на видимом диске Юпитера. Здесь введена декартова система координат, при этом ось ОХ ориентирована вдоль экватора планеты, а ось ОУ – вдоль центрального меридиана ее видимого диска. Определим координаты пятна $x_{P1} = 41$ мм, $x_{P3} = 23$ мм на первом и последнем кадре, определим также радиусы планетоцентрической параллели пятна $r_1 = 57$ мм, $r_3 = 56$ мм¹. (1 балл) Далее рассмотрим рис. 10.г), здесь картинная плоскость совпадает с плоскостью планетоцентрической параллели, на которой находится БКП. Определим позиционные углы БКП на первом φ_1 и третьем φ_3 кадрах (2 балла):

$$\sin \varphi_1 = \frac{x_{P1}}{r_1} = 0.7193, \Rightarrow \varphi_1 = \arcsin \left(\frac{x_{P1}}{r_1} \right) = 46.0^\circ,$$

$$\sin \varphi_3 = \frac{x_{P3}}{r_3} = 0.4107, \Rightarrow \varphi_3 = \arcsin \left(\frac{x_{P3}}{r_3} \right) = 24.2^\circ.$$

¹Ваши значения величин, измеренных по рисунку, могут отличаться от указанных, при использовании фотографии в ином масштабе.

Изменение позиционного угла φ обусловлено поворотом планеты относительно ее оси. Следовательно угол поворота планеты $\Delta\varphi$ можно представить в виде: $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_3 = 21.8^\circ$, иначе $\Delta\varphi = \omega_J \cdot \tau_c, \Rightarrow \tau_c = \frac{\Delta\varphi}{\omega_J}$, или (1 балл)

$$\tau_c = \frac{\Delta\varphi}{360^\circ} P_J = 36.1 \text{ мин,}$$

здесь ω_J, P_J – угловая скорость и сидерический период вращения планеты вокруг своей оси; τ_c – искомое время съемки.

2. Для оценки расстояний, которые прошли спутники за время τ_c необходимо учесть, что вблизи диска центральной планеты спутники фактически двигаются в картинной плоскости, перпендикулярно лучу зрения. Следовательно их пути равны отрезкам, которые они описывают в кадре. Для определения длин отрезков зафиксируем по рис. 10.а)-в) координаты начального и конечного положений S_1 и S_2 спутников. S_1 : $x_{11} = 57$ мм, $y_{11} = 22$ мм, $x_{13} = 26$ мм, $y_{13} = 23$ мм; S_2 : $x_{21} = 100.5$ мм, $y_{21} = 59$ мм, $x_{23} = 80$ мм, $y_{23} = 59$ мм. Определим также экваториальный радиус Юпитера по рисунку $R_e = 63$ мм. Следовательно, искомые пути (расстояния), пройденные спутниками за время съемки, определяться по теореме Пифагора (2 балла):

$$s_1 = \frac{R_e}{R_e} \sqrt{(x_{11} - x_{13})^2 + (y_{11} - y_{13})^2} = 35197 \text{ км,} \quad (19)$$

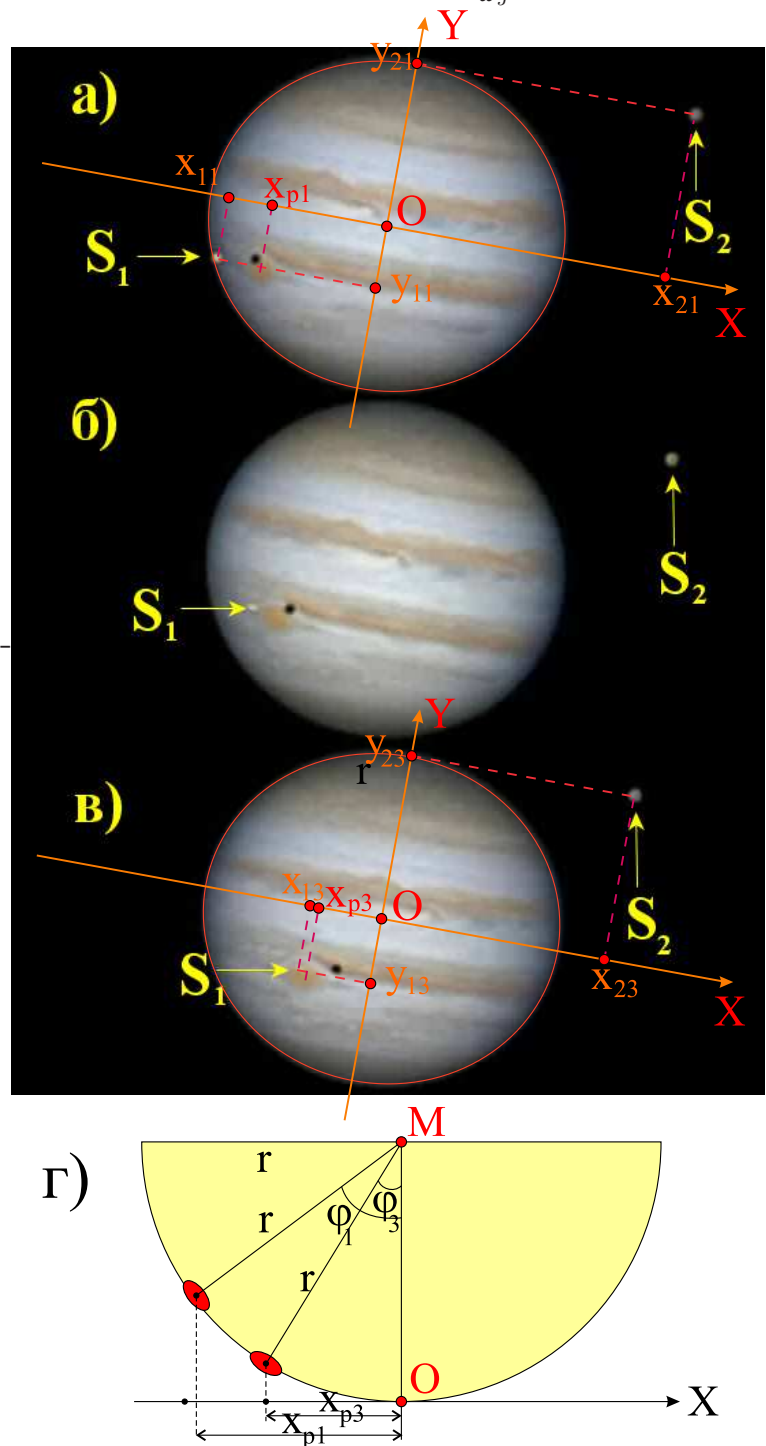


Рис. 10. К определению вспомогательных построений и дополнительных параметров задачи.

Следовательно, искомые пути (расстояния), пройденные спутниками за время съемки, определяться по теореме Пифагора (2 балла):

№	Спутник	$r_i, \times 10^3$ км	T_i , сут	V_i , км/с
I	Ио	421.7	1.76914	17.33
II	Европа	670.9	3.55118	13.74
III	Ганимед	1070.4	7.15455	10.88
IV	Каллисто	1882.7	16.6890	8.20

Таблица 5. К определению значений для радиуса круговой орбиты, сидерического периода обращения и орбитальной скорости 4-х галилеевых спутников Юпитера.

$$s_2 = \frac{\mathcal{R}_e}{R_e} \sqrt{(x_{21} - x_{23})^2 + (y_{21} - y_{23})^2} = 23263 \text{ км}, \quad (20)$$

здесь $\mathcal{R}_e = 71492$ км – экваториальный радиус Юпитера.

3. С использованием полученных значений для пройденных путей за время съемки, вычислим средние орбитальные скорости данных спутников (1 балл):

$$v_1 = \frac{s_1}{\tau_c} = 16.25 \text{ км/с}, \quad v_2 = \frac{s_2}{\tau_c} = 10.74 \text{ км/с}. \quad (21)$$

Учитывая далее, что орбиты все галилеевых спутников являются круговыми, с использованием справочных данных выполним расчет их орбитальных скоростей по формуле:

$$V_i = \frac{2\pi r_i}{P_i},$$

здесь r_i, T_i – радиус круговой орбиты и сидерический период обращения вокруг Юпитера i -го галилеевого спутника соответственно. Численные значения для последних параметров и вычисленные значения орбитальной скорости V_i для всех галилеевых спутников представлены в табл. 5. Из сопоставления численных результатов (21) с результатами для V_i в последнем столбце таблицы, приходим к заключению, что спутник S_1 – Ио (относительная ошибка – 6.2%), спутник S_2 – Ганимед (относительная ошибка – 1.3%). (1 балл)

4. Во время транзита спутник S_1 проходит по диску Юпитера путь $2r_1$, со скоростью V_1 . Тогда время транзита спутника S_1 (Ио) по диску планеты можно определить так (3 балла)

$$\tau_1 = \frac{\mathcal{R}_e 2r_1}{V_1 R_e} = 124.4 \text{ мин}. \quad (22)$$

5. Дополнительное построение, выполненное на рис. 10.а)-в), указывает на то, что Ганимед не испытал покрытия телом Юпитера, в классическом смысле этого слова, поскольку он должен был пройти "в касательную" к северному полюсу планеты или, возможно, даже выше, с учетом выпуклой кривизны его орбиты в околополярной области планеты. На этот же вердикт указывает и дополнительная проверка! (1 балл)

Хорошо известно, что все орбиты галилеевых спутников лежат в экваториальной плоскости материнской планеты. Координата y точки пересечения орбиты Ио с центральным меридианом планеты близка к $y_{13} = 23$ мм. Тогда

легко вычислить координату, соответствующую точке пересечения Ганимеда оси ОУ (центрального меридиана планеты):

$$y_G = y_{13} \frac{r_3}{r_1} = 58.4 \text{ мм.}$$

Непосредственное измерение полярного радиуса Юпитера по рисунку дает значение $R_p = 58$ мм, что чуть меньше указано выше значения. Следовательно покрытие Ганимеда после съемки не состоялось! (1 балл) Оценим время от момента окончания съемки до момента максимального сближения Ганимеда с Юпитером (1 балл):

$$\tau_2 = \frac{\mathcal{R}_e x_{23}}{V_3 R_e} = 139.1 \text{ мин.} \quad (23)$$

№10. «Луна и коллаж: была или небылица»

1. На фотографии Луна представлена в фазе убывающей выпуклой Луны. В данной фазе Луну можно наблюдать, начиная незадолго до полуночи и вплоть до восхода Солнца. Ее также можно наблюдать и после восхода Солнца. Заметим, что у Луны освещенная выпуклая часть ориентирована в небо, следовательно Солнце должно располагаться над горизонтом выше Луны. Тогда должен быть день и видно голубое небо! По факту мы видим ночной город в лучах фонарей уличного освещения и черное ночное небо (что неестественно для городов с большой искусственной засветкой!). Указанное противоречие явно указывает на ошибку автора, допущенную при составлении коллажа. (1 балл)

Ее можно было легко исправить, если видимый диск Луны повернуть против часовой стрелки на угол близких к 90° . Такая ориентация видимого диска Луны указывала бы на ее восход, который имеет место в окрестности полуночи. Этот образ гармонично сочетался бы с ночным пейзажем городской инфраструктуры. (1 балл)

2. Пусть D''_ζ – сегодняшней угловой диаметр Луны (при чем $D''_\zeta \ll 1$ рад). Тогда на матрице фотоаппарата при использовании объектива с фокусным расстоянием f_1 и телескопа с фокусным расстоянием f_2 изображения Луны будут иметь линейные размеры соответственно (1 балл):

$$\ell_\zeta^{(1)} = D''_\zeta \cdot f_1, \quad \ell_\zeta^{(2)} = D''_\zeta \cdot f_2, \quad \text{здесь } [D''_\zeta] = \text{рад.}$$

После приближения Луны к Земле ее угловой диаметр D''_ζ должен быть существенно больше, при этом ее линейный размер на матрице должен быть как и прежде $\ell_\zeta^{(2)}$. В итоге можно записать выражение вида (1 балл):

$$\frac{\ell_\zeta^{(2)}}{2} = f_1 \operatorname{tg} \frac{D''_\zeta}{2}, \quad \Rightarrow \quad D''_\zeta = 2 \operatorname{arctg} \left(\frac{f_2 D''_\zeta}{f_1 \frac{D''_\zeta}{2}} \right) = 2 \operatorname{arctg} \left(\frac{f_2 \mathcal{R}_\zeta}{f_1 a_\zeta} \right) = 33.55^\circ,$$

где $\mathfrak{R}_\zeta, a_\zeta$ – настоящие значения радиусов Луны и ее круговой орбиты соответственно.

3. Определим расстояние, с которого Луна будет видна под углом \mathcal{D}_ζ'' (1 балл):

$$\sin \frac{\mathcal{D}_\zeta''}{2} = \frac{\mathfrak{R}_\zeta}{\Delta_\zeta^{(1)}}, \Rightarrow \Delta_\zeta^{(1)} = \frac{\mathfrak{R}_\zeta}{\sin \frac{\mathcal{D}_\zeta''}{2}} = 6022 \text{ км.} \quad (24)$$

Согласно условию задачи, новый угловой диаметр Луны соответствует ее наблюдению в подлунной точке – ближайшей к Луне точке поверхности Земли. Тогда радиус новой круговой орбиты Луны будет (1 балл)

$$a_\zeta^{(1)} = \bar{\mathfrak{R}}_\oplus + \Delta_\zeta^{(1)} = 12393 \text{ км,} \quad (25)$$

здесь $\bar{\mathfrak{R}}_\oplus = 6371$ км – средний радиус Земли. Сидерический период обращения Луны вокруг центра масс системы «Земля-Луна» определим с использованием 3-го закона Кеплера (2 балла):

$$T_\zeta^{(1)} = T_\zeta \left(\frac{a_\zeta^{(1)}}{a_\zeta} \right)^{3/2} = 3.796 \text{ час.} \quad (26)$$

4.1. Вычислим синодический период обращения Луны для жителя Земли (1 балл):

$$\frac{1}{S_\zeta^{(1)}} = \frac{1}{T_\zeta^{(1)}} - \frac{1}{T_\oplus}, \Rightarrow S_\zeta^{(1)} = \frac{T_\zeta^{(1)} T_\oplus}{T_\oplus - T_\zeta^{(1)}} = 4.512 \text{ час.} \quad (27)$$

Поскольку в условии задачи ничего не сказано об изменении направления движения Луны относительно центра Земли, то будем полагать, что на новой орбите ее направление движения остается прежним. Тогда с периодом $S_\zeta^{(1)}$ Луна будет восходить в данном месте наблюдения на западном небосклоне, затем двигаться с запада на восток и заходить за горизонт на востоке (подобную картину мы наблюдаем в случае МКС; подобным образом движется и Фобос – крупнейший спутник Марса относительно поверхности Красной планеты). Минимальное и максимальное количества восходов Луны над западным горизонтом в течение одних земных суток определяются выражениями (2 балла):

$$N_{\min} = \left\lceil \frac{24^h}{S_\zeta^{(1)}} \right\rceil = 5, \quad N_{\max} = \left\lfloor \frac{24^h}{S_\zeta^{(1)}} \right\rfloor + 1 = 6. \quad (28)$$

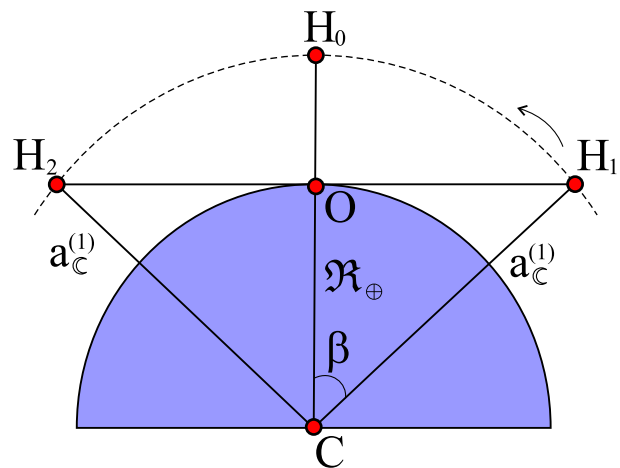


Рис. 11. К определению максимальной продолжительности видимости Луны над горизонтом.

подобным образом движется и Фобос – крупнейший спутник Марса относительно поверхности Красной планеты). Минимальное и максимальное количества восходов Луны над западным горизонтом в течение одних земных суток определяются выражениями (2 балла):

В выражениях (28) квадратными скобками обозначена операция взятия целой части от дроби.

4.2. Оценим максимальную продолжительность видимости Луны над горизонтом, которая, очевидно, будет достигаться в случае, когда видимый путь Луны проходит через зенит наблюдателя. Следовательно, искомое время $\tau_{\max}^{(\text{vis})}$ можно вычислить так (1 балл)

$$\tau_{\max}^{(\text{vis})} = \frac{(\check{L} + \mathfrak{D}''_{\zeta})}{360^{\circ}} S_{\zeta}^{(1)}, \quad (29)$$

здесь $\check{L} = N_1 \check{N}_0 N_2 = 2\beta$ – дуга орбиты Луны, расположенная над горизонтом и проходящая через зенит наблюдателя (см. рис. 11); здесь также учтена конечность угловых размеров Луны (Луна появляется над горизонтом/исчезает за горизонтом, когда ее центр расположен на $\mathfrak{D}''_{\zeta}/2$ ниже горизонта, где $\mathfrak{D} = 2 \arcsin(\mathfrak{R}_{\zeta}/a_{\zeta}^{(1)})$ – угловой диаметр Луны на новой орбите при ее наблюдении из центра Земли).

Для определения угла β рассмотрим прямоугольный треугольник $\triangle CON_1$:

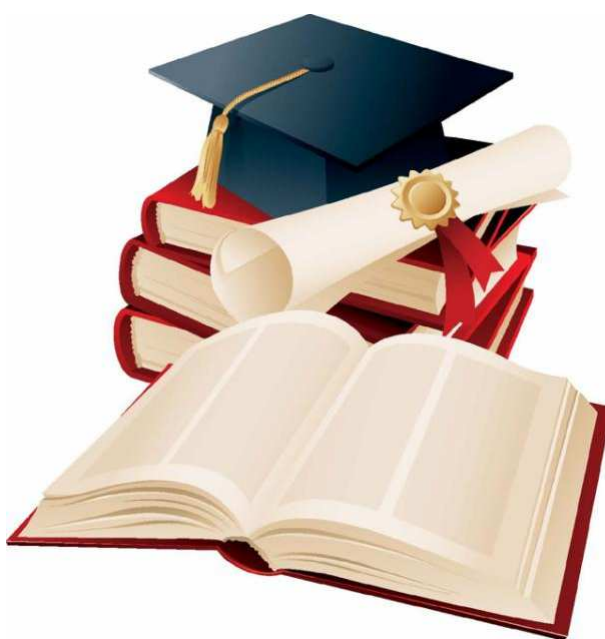
$$\cos \beta = \frac{\bar{\mathfrak{R}}_{\oplus}}{a_{\zeta}^{(1)}}, \quad \Rightarrow \quad \beta = \arccos \left(\frac{\bar{\mathfrak{R}}_{\oplus}}{a_{\zeta}^{(1)}} \right).$$

В итоге максимальное время будет определяться выражением (1 балл):

$$\tau_{\max}^{(\text{vis})} = \frac{2 S_{\zeta}^{(1)}}{360^{\circ}} \left(\arccos \left(\frac{\bar{\mathfrak{R}}_{\oplus}}{a_{\zeta}^{(1)}} \right) + \arcsin \left(\frac{\mathfrak{R}_{\zeta}}{a_{\zeta}^{(1)}} \right) \right) = 101.0 \text{ мин} = 1.683 \text{ час.}$$

5. Лунные приливы, возникающие на поверхности Земли, является результатом действия приливных сил со стороны Луны на тело Земли. Величина последних зависит как от взаимного расположения тел, их масс, так и от выбранной точки наблюдения. Периодичность в изменении величин и направлений этих сил полностью определяется синодическим периодом этого тела по отношению к поверхности Земли, т.е. $S_{\zeta}^{(1)}$. (1 балл) Следует помнить, что Луна, как приливообразующее тело, создает на поверхности Земли два приливных горба/впадины. Каждый из этих горбов с периодом $S_{\zeta}^{(1)}$ движется по поверхности Земли, вслед за Луной. Прилив наступает, когда один из таких горбов приходит в данную точку поверхности Земли. Поэтому в данном месте приливы появляются с периодом $S_{\zeta}^{(1)}/2 = 2.256$ часа. (1 балл) Наличие двух приливных горбов является следствием квадрупольной природы приливных сил.

СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ



А.1. Основные физические и астрономические постоянные

- Гравитационная постоянная – $G = 6.674 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$
- Скорость света в вакууме – $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
- Универсальная газовая постоянная – $R = 8.31 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$
- Постоянная Стефана-Больцмана – $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{К}^{-4}$
- Постоянная Авогадро – $N_A = 6.022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
- Масса протона – $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
- Масса электрона – $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
- Астрономическая единица – $1 \text{ а.е.} = 1.496 \cdot 10^{11} \text{ м}$
- Парсек – $1 \text{ пк} = 206265 \text{ а.е.} = 3.086 \cdot 10^{16} \text{ м}$
- Постоянная Хаббла – $H = 72 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$

А.2. Данные о Солнце

- Радиус – $6.955 \cdot 10^5 \text{ км}$
- Масса – $1.989 \cdot 10^{30} \text{ кг}$
- Светимость – $3.827 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$
- Спектральный класс – G2
- Видимая звездная величина – -26.74^m
- Абсолютная болометрическая звездная величина – $+4.83^m$
- Показатель цвета (B-V) – $+0.67^m$
- Эффективная температура – 5778 К
- Средний горизонтальный параллакс – $8.794''$
- Солнечная постоянная (во всем спектре) на расстоянии Земли – 1361 Вт/м^2
- Солнечная постоянная (в видимом свете) на расстоянии Земли – 600 Вт/м^2

А.3. Данные о Земле

- Эксцентриситет орбиты – 0.017
- Тропический год – 365.24219 сут
- Средняя орбитальная скорость – 29.8 км/с
- Период вращения – $23 \text{ часа } 56 \text{ минут } 04 \text{ секунды}$
- Наклон экватора к эклиптике на эпоху 2000.0 – $23^\circ 26' 21.45''$

- Средний по объему радиус – 6371.0 км
- Средний экваториальный радиус – 6378.14 км
- Длина земного меридиана – 20004.276 км
- Полярный радиус – 6356.77 км
- Масса – $5.974 \cdot 10^{24}$ кг
- Средняя плотность – $5.52 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$
- Объемный состав атмосферы – N_2 (78%), O_2 (21%), Ar ($\sim 1\%$)

А.4. Данные о Луне

- Среднее расстояние от Земли – 384400 км
- Минимальное расстояние от Земли – 356410 км
- Максимальное расстояние от Земли – 406700 км
- Эксцентриситет орбиты – 0.055
- Наклон плоскости орбиты к эклиптике – $5^\circ 09'$
- Сидерический (звездный) период обращения – 27.321662 сут
- Синодический период обращения – 29.530589 сут
- Радиус – 1738 км
- Масса – $7.348 \cdot 10^{22}$ кг или $1/81.3$ массы Земли
- Средняя плотность – $3.34 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$
- Визуальное геометрическое альbedo – 0.12
- Видимая звездная величина в полнолуние – -12.7^m
- Видимая звездная величина в первой/последней четверти – -10.0^m

А.5. Формулы приближенного вычисления

$$\sin x \approx \operatorname{tg} x \approx x;$$

$$\sin(x \pm \alpha) \approx \sin \alpha \pm x \cos \alpha;$$

$$\cos(x \pm \alpha) \approx \cos \alpha \mp x \sin \alpha;$$

$$\operatorname{tg}(x \pm \alpha) \approx \operatorname{tg} \alpha \pm \frac{x}{\cos^2 \alpha};$$

$$(1 + x)^n \approx 1 + nx;$$

здесь $x \ll 1$, все углы выражаются в радианах.

А.6. Характеристики орбит планет

Планета	Большая полуось		Эксцентриситет	Наклон к плоскости эклиптики	Период обращения	Синодический период
	млн. км	а.е.				
Меркурий	57.9	0.3871	0.2056	7.004	87.97 сут	115.9
Венера	108.2	0.7233	0.0068	3.394	224.70 сут	583.9
Земля	149.6	1.0000	0.0167	0.000	365.26 сут	–
Марс	227.9	1.5237	0.0934	1.850	686.98 сут	780.0
Юпитер	778.3	5.2028	0.0483	1.308	11.862 лет	398.9
Сатурн	1429.4	9.5388	0.0560	2.488	29.458 лет	378.1
Уран	2871.0	19.1914	0.0461	0.774	84.01 лет	369.7
Нептун	4504.3	30.0611	0.0097	1.774	164.79 лет	367.5

А.7. Физические характеристики Солнца и планет

Планета	Масса		Радиус		Плотность	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты	Геометрич. альбедо	Вид. звездная величина*
	кг	массы Земли	км	радиусы Земли					
Солнце	$1.989 \cdot 10^{30}$	332946	695500	108.97	1.41	25.380 сут	7.25	–	-26.8^m
Меркурий	$3.302 \cdot 10^{23}$	0.05271	2439.7	0.3825	5.42	58.646 сут	0.00	0.10	-0.1
Венера	$4.869 \cdot 10^{24}$	0.81476	6051.8	0.9488	5.20	243.019 сут [†]	177.36	0.65	-4.4^m
Земля	$5.974 \cdot 10^{24}$	1.00000	6378.1	1.0000	5.52	23.934 час	23.45	0.37	–
Марс	$6.419 \cdot 10^{23}$	0.10745	3397.2	0.5326	3.93	24.623 час	25.19	0.15	-2.0^m
Юпитер	$1.899 \cdot 10^{27}$	317.94	71492	11.209	1.33	9.924 час	3.13	0.52	-2.7^m
Сатурн	$5.685 \cdot 10^{26}$	95.181	60268	9.4494	0.69	10.656 час	25.33	0.47	0.4^m
Уран	$8.683 \cdot 10^{25}$	14.535	25559	4.0073	1.32	17.24 час [†]	97.86	0.51	5.7^m
Нептун	$1.024 \cdot 10^{26}$	17.135	24746	3.8799	1.64	16.11 час	28.31	0.41	7.8^m

* для наибольшей элонгации Меркурия и Венеры и среднего противостояния внешних планет;

† – обратное вращение.

А.8. Характеристики некоторых спутников планет

Спутник	Масса	Радиус	Плотность	Радиус орбиты	Период обращения	Геометрич. альбедо	Вид. звездная величина*
	кг	км	г·см ⁻³	км	сут		
Земля							
Луна	$7.348 \cdot 10^{22}$	1738	3.34	384400	27.32166	0.12	-12.7
Марс							
Фобос	$1.08 \cdot 10^{16}$	~ 10	2.0	9380	0.31910	0.06	11.3
Деймос	$1.8 \cdot 10^{15}$	~ 6	1.7	23460	1.26244	0.07	12.4
Юпитер							
Ио	$8.94 \cdot 10^{22}$	1815	3.55	421800	1.769138	0.61	5.0
Европа	$4.8 \cdot 10^{22}$	1569	3.01	671100	3.551181	0.64	5.3
Ганимед	$1.48 \cdot 10^{23}$	2631	1.94	1070400	7.154553	0.42	4.6
Каллисто	$1.08 \cdot 10^{23}$	2400	1.86	1882800	16.68902	0.20	5.7
Сатурн							
Тефия	$7.55 \cdot 10^{20}$	530	1.21	294660	1.887802	0.9	10.2
Диона	$1.05 \cdot 10^{21}$	560	1.43	377400	2.736915	0.7	10.4
Рея	$2.49 \cdot 10^{21}$	765	1.33	527040	4.517500	0.7	9.7
Титан	$1.35 \cdot 10^{23}$	2575	1.88	1221850	15.94542	0.21	8.2
Япет	$1.88 \cdot 10^{21}$	730	1.21	3560800	79.33018	0.20	~ 11.0
Уран							
Миранда	$6.33 \cdot 10^{19}$	235.8	1.15	129900	1.413479	0.27	16.3
Ариэль	$1.7 \cdot 10^{21}$	578.9	1.56	190900	2.520379	0.34	14.2
Умбриэль	$1.27 \cdot 10^{21}$	584.7	1.52	266000	4.144177	0.18	14.8
Титания	$3.49 \cdot 10^{21}$	788.9	1.70	436300	8.705872	0.27	13.7
Оберон	$3.03 \cdot 10^{21}$	761.4	1.64	583500	13.46324	0.24	13.9
Нептун							
Тритон	$2.14 \cdot 10^{22}$	1350	2.07	354800	5.87685 [†]	0.7	13.5

* – для полнолуния или среднего противостояния внешних планет;

† – обратное вращение.

А.9. Диаграмма видимого годичного движения Солнца по эклиптике и график для уравнения времени

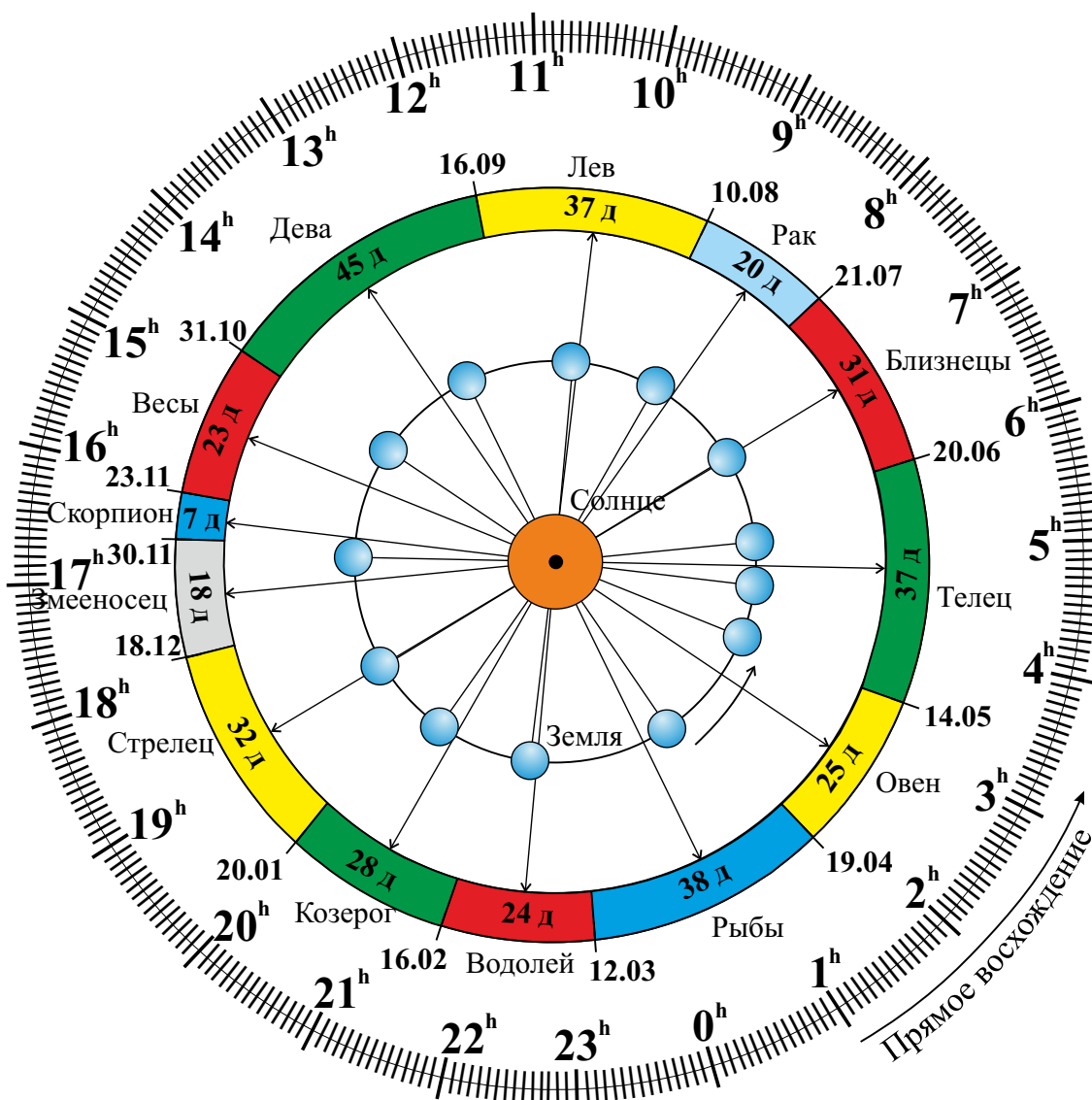


Рис. А.1. Диаграмма видимого годичного движения Солнца по эклиптике.

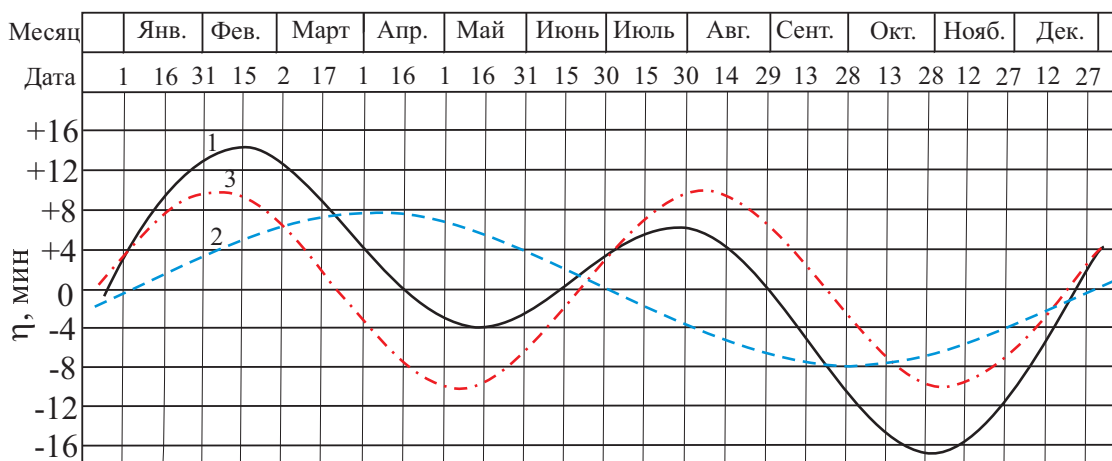


Рис. А.2. График уравнения времени: 1 – уравнение времени, 2 – уравнение центра, 3 – уравнение от наклона эклиптики.

А.10. Яркие звезды ночного небосвода

Топ-25 ярчайших звезд ночного небосвода

№	Название	α	δ	r , св.л.	m , ^m	M , ^m	Сп. кл.	Полушарие и № в нем
1	Сириус (α Большого Пса)	06 ^h 45 ^m 9 ^s	-16°42'58"	8.6	-1.46	1.4	A1Vm	Южное (01)
2	Канопус (α Киля)	06 ^h 23 ^m 57 ^s	-52°41'45"	310	-0.72	-5.53	A9II	Южное (02)
3	Ригил(A)/Толлиман(B) (α Центавра АВ)	14 ^h 39 ^m 35 ^s	-60°50'15"	4.3	-0.27	4.06	G2V + K1V	Южное (03)
4	Арктур (α Волопаса)	14 ^h 15 ^m 40 ^s	19°10'57"	36.7	-0.05	-0.3	K1.5IIIp	Северное (01)
5	Вега (α Лир)	18 ^h 36 ^m 56 ^s	38°47'01"	25	0.03 ^v	0.6	A0Va	Северное (02)
6	Капелла (α Возничего)	05 ^h 16 ^m 41 ^s	45°59'53"	42.2	0,08	-0.5	G6III + G2III	Северное (03)
7	Ригель (β Ориона)	05 ^h 14 ^m 32 ^s	-08°12'06"	870	0.12 ^v	-7.84	B8Iae	Южное (04)
8	Процион (α Малого Пса)	07 ^h 39 ^m 18 ^s	+05°13'30"	11.4	0.38	2.6	F5IV-V	Северное (04)
9	Ахернар (α Эридана)	01 ^h 37 ^m 43 ^s	-57°14'12"	139	0.46	-1.3	B3Vnp	Южное (05)
10	Бетельгейзе (α Ориона)	05 ^h 55 ^m 10 ^s	07°24'25"	530	0.50 ^v	-5.14	M2Iab	Северное (05)
11	Хадар (β Центавра)	14 ^h 03 ^m 49 ^s	-60°22'23"	400	0.61 ^v	-5.4	B1III	Южное (06)
12	Альтаир (α Орла)	19 ^h 50 ^m 47 ^s	08°52'06"	16.8	0.77	2.3	A7Vn	Северное (06)
13	Акрукс (α Южного Креста)	12 ^h 26 ^m 36 ^s	-63°05'57"	321	0.77	-4.1	B0.5IV + B1Vn	Южное (07)
14	Альдебаран (α Тельца)	04 ^h 35 ^m 55 ^s	16°30'33"	65	0.85 ^v	-0.3	K5III	Северное (07)
15	Антарес (α Скорпиона)	16 ^h 29 ^m 24 ^s	-26°25'55"	610	0.96 ^v	-5.2	M1.5Iab	Южное (08)
16	Спика (α Девы)	13 ^h 25 ^m 12 ^s	-11°09'41"	250	0.98 ^v	-3.2	B1V	Южное (09)
17	Поллукс (β Близнецов)	7 ^h 45 ^m 19 ^s	28°01'34"	33.7	1.14	0.7	K0IIIb	Северное (08)
18	Фомальгаут (α Южной Рыбы)	22 ^h 57 ^m 39 ^s	-29°37'20"	25	1.16	2.0	A3Va	Южное (10)
19	Мимоза (β Южного Креста)	12 ^h 47 ^m 43 ^s	-59°41'19"	353	1.25 ^v	-4.0	B0.5III	Южное (11)

Топ-25 ярчайших звезд ночного небосвода (продолжение)

20	Денеб (α Лебедя)	20 ^h 41 ^m 26 ^s	45°16'49"	1550	1.25	-8.38	A2Ia	Северное (09)
21	Регул (α Льва)	10 ^h 08 ^m 22 ^s	11°58'02"	77	1.35	-0.5	B7Vn	Северное (10)
22	Адара (ϵ Большого Пса)	06 ^h 58 ^m 38 ^s	-28°58'19"	400	1.50	-4.8	B2II	Южное (12)
23	Кастор (α Близнецов)	07 ^h 34 ^m 36 ^s	31°53'18"	51.5	1.57	0.5	A1V + A2V	Северное (11)
24	Гакрукс (γ Южного Креста)	12 ^h 31 ^m 10 ^s	-57°06'48"	88	1.63 ^v	-1.2	M3.5III	Южное (13)
25	Шаула (λ Скорпиона)	17 ^h 33 ^m 37 ^s	-37°06'13"	365	1.63 ^v	-3.5	B1.5IV	Южное (14)

А.11. Диаграмма Герцшпрунга-Рассела, болометрические поправки

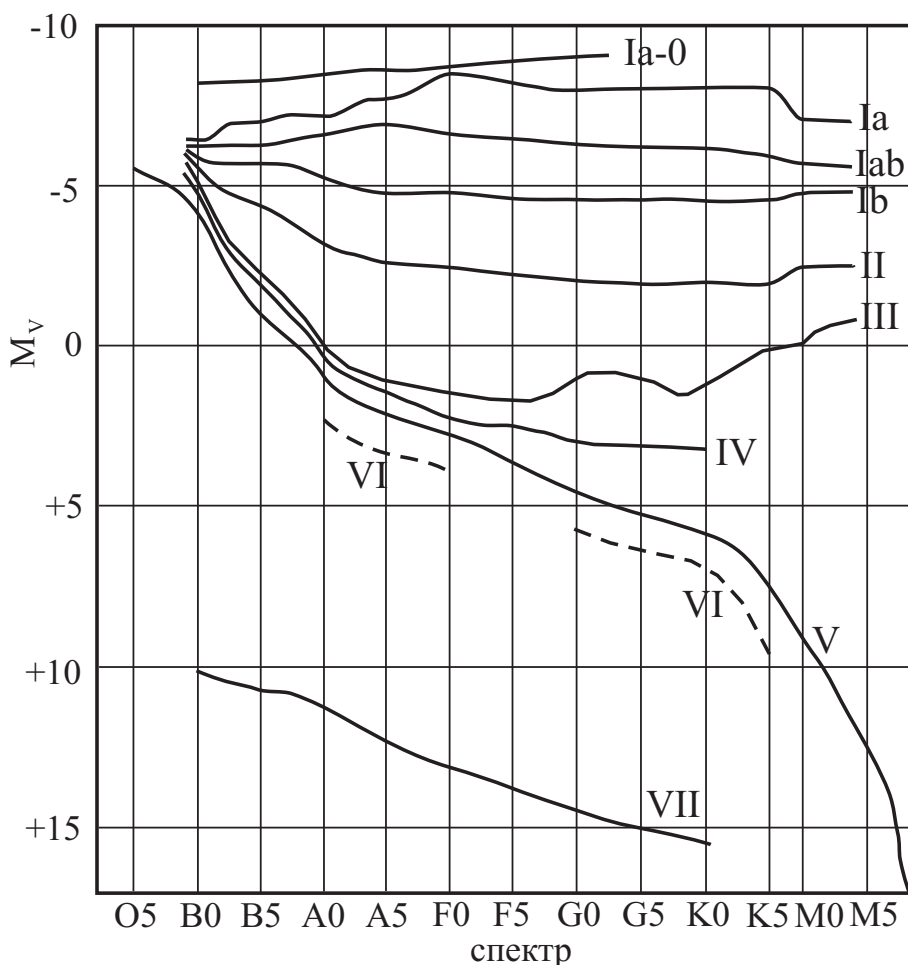


Рис. А.3. Диаграмма Герцшпрунга-Рассела.

Болометрические поправки ΔM_b

Спектр	ΔM_b	Спектр	ΔM_b		
			Гл. последовательность	Гиганты	Сверхгиганты
B0	- 2.70	F5	- 0.04	- 0.08	- 0.12
B5	- 1.58	F8	- 0.05	- 0.17	- 0.28
A0	- 0.72	G0	- 0.06	- 0.25	- 0.42
A5	- 0.31	G2	- 0.07	- 0.31	- 0.52
F0	- 0.09	G5	- 0.10	- 0.39	- 0.65
F2	- 0.04	G8	- 0.10	- 0.47	- 0.80
		K0	- 0.11	- 0.54	- 0.93
		K2	- 0.15	- 0.72	- 1.20
		K3	- 0.31	- 0.89	- 1.35
		K4	- 0.55	- 1.11	- 1.56
		K5	- 0.85	- 1.35	- 1.86
		M0	- 1.43	- 1.55	- 2.2
		M1	- 1.70	- 1.72	- 2.6
		M2	- 2.03	- 1.95	- 3.0
		M3	- 2.35	- 2.26	- 3.6
		M4	- 2.7	- 2.72	- 3.8
		M5	- 3.1	- 3.4	- 4.0

А.12. Статистика распределения звезд по звездным величинам

m	Кол-во звезд	m	Кол-во звезд	m	Кол-во звезд, $\times 10^6$	m	Кол-во звезд, $\times 10^6$
0^m	4	5^m	1602	10^m	0.340	15^m	36.9
1^m	15	6^m	4800	11^m	0.927	16^m	83.7
2^m	48	7^m	14000	12^m	2.46	17^m	182
3^m	171	8^m	42000	13^m	6.29	18^m	374
4^m	513	9^m	121000	14^m	15.5	19^m	733

Примечание: здесь указано количество звезд на всем небосводе, имеющих блеск ярче указанной звездной величины, согласно Star Numbers, 2001.

А.13. Таблица Менделеева

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

ПЕРИОДЫ	A I	A II	A III	A IV	A V	A VI	A VII	A VIII	A IX	A X	A XI	A XII											
1	(H) Hydrogenium Водород																						
2	Li Lithium Литий	Be Beryllium Бериллий	B Bor Бор	C Carbonium Углерод	N Nitrogenium Азот	O Oxygenium Кислород	F Fluor Фтор	Ne Neon Неон	Ar Argon Аргон	Kr Krypton Криптон	Xe Xenon Ксенон	Rn Radon Радон											
3	Na Natrium Натрий	Mg Magnesium Магний	Al Aluminium Алюминий	Si Silicium Кремний	P Phosphorus Фосфор	S Sulfur Сера	Cl Chlorium Хлор	Ar Argon Аргон	Kr Krypton Криптон	Xe Xenon Ксенон	Rn Radon Радон	Ra Radium Радий											
4	K Kalium Калий	Ca Calcium Кальций	Sc Scandium Скандий	Ti Titanium Титан	V Vanadium Ванадий	Cr Chromium Хром	Mn Manganum Марганец	Fe Ferrum Железо	Ni Niccolum Никель	Cu Cuprum Медь	Zn Zincum Цинк	Ga Gallium Галлий	Ge Germanium Германий	As Arsenicum Мышьяк	Se Selenium Селен	Br Bromum Бром	Kr Krypton Криптон	Xe Xenon Ксенон	Rn Radon Радон	Ra Radium Радий			
5	Rb Rubidium Рубидий	Sr Strontium Стронций	Y Yttrium Иттрий	Zr Zirconium Цирконий	Nb Niobium Ниобий	Mo Molybdenum Молибден	Tc Technetium Технеций	Ru Ruthenium Рутений	Rh Rhodium Родий	Pd Palladium Палладий	Ag Argentum Серебро	Cd Cadmium Кадмий	In Indium Индий	Sn Stannum Олово	Sb Stibium Сурьма	Te Tellurium Теллур	I Iodum Иод	Xe Xenon Ксенон	Rn Radon Радон	Ra Radium Радий			
6	Cs Cesium Цезий	Ba Barium Барий	La* Lanthanum Лантан	Hf Hafnium Гафний	Ta Tantalum Тантал	W Wolframium Вольфрам	Re Rhenium Рений	Os Osmium Осмий	Ir Iridium Иридий	Pt Platinum Платина	Au Aurum Золото	Hg Hydrargyrum Ртуть	Tl Thallium Таллий	Pb Plumbum Свинец	Bi Bismuthum Висмут	Po Polonium Полоний	At Astatium Астат	Xe Xenon Ксенон	Rn Radon Радон	Ra Radium Радий			
7	Fr Francium Франций	Ra Radium Радий	Ac** Actinium Актиний	Rf Rutherfordium Фезерфордий	Db Dubnium Дубний	Sg Seaborgium Сиборгий	Bh Bohrium Борий	Hs Hassium Хассий	Mt Meitnerium Мейтнерий	Uuo Ununseptium Унунсептий	Uub Ununbium Унунбий	Uuq Ununquadium Унунквадий	Uur Ununpentium Унунпентий	Uus Ununseptium Унунсептий	Uuo Ununseptium Унунсептий	Uuq Ununquadium Унунквадий	Uur Ununpentium Унунпентий	Uus Ununseptium Унунсептий	Uuo Ununseptium Унунсептий	Uuq Ununquadium Унунквадий	Uur Ununpentium Унунпентий	Uus Ununseptium Унунсептий	Uuo Ununseptium Унунсептий

Символ элемента: **Ar** (Argon)

Относительная атомная масса: 39.948

Периодический номер: 18

Название элемента: Аргон

Распределение электронов на энергетических уровнях: 2, 8, 8

Рис. А.4. Таблица Менделеева.

В.1. Карты звездного неба

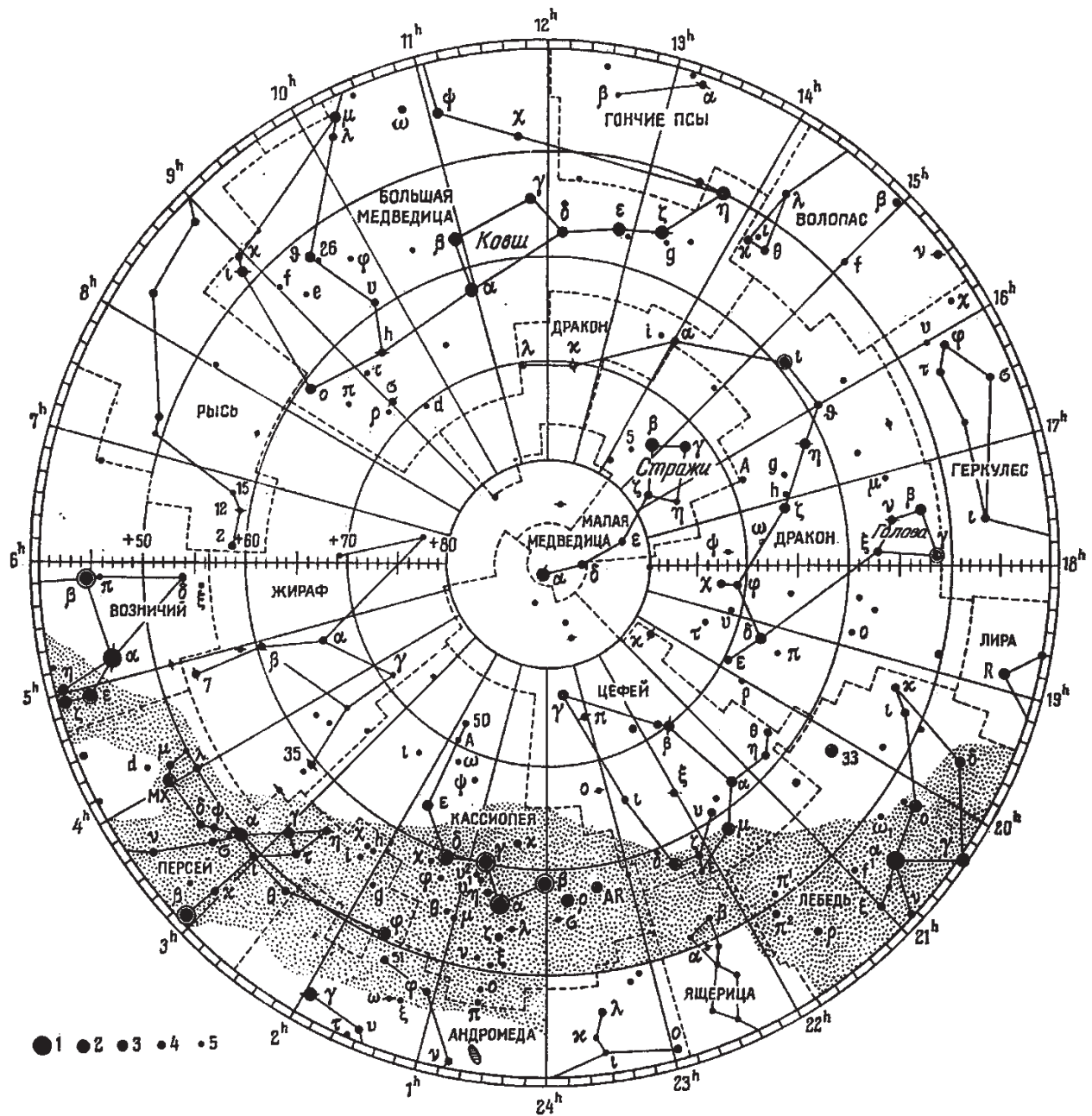


Рис. В.1. Карта северной околополярной области.

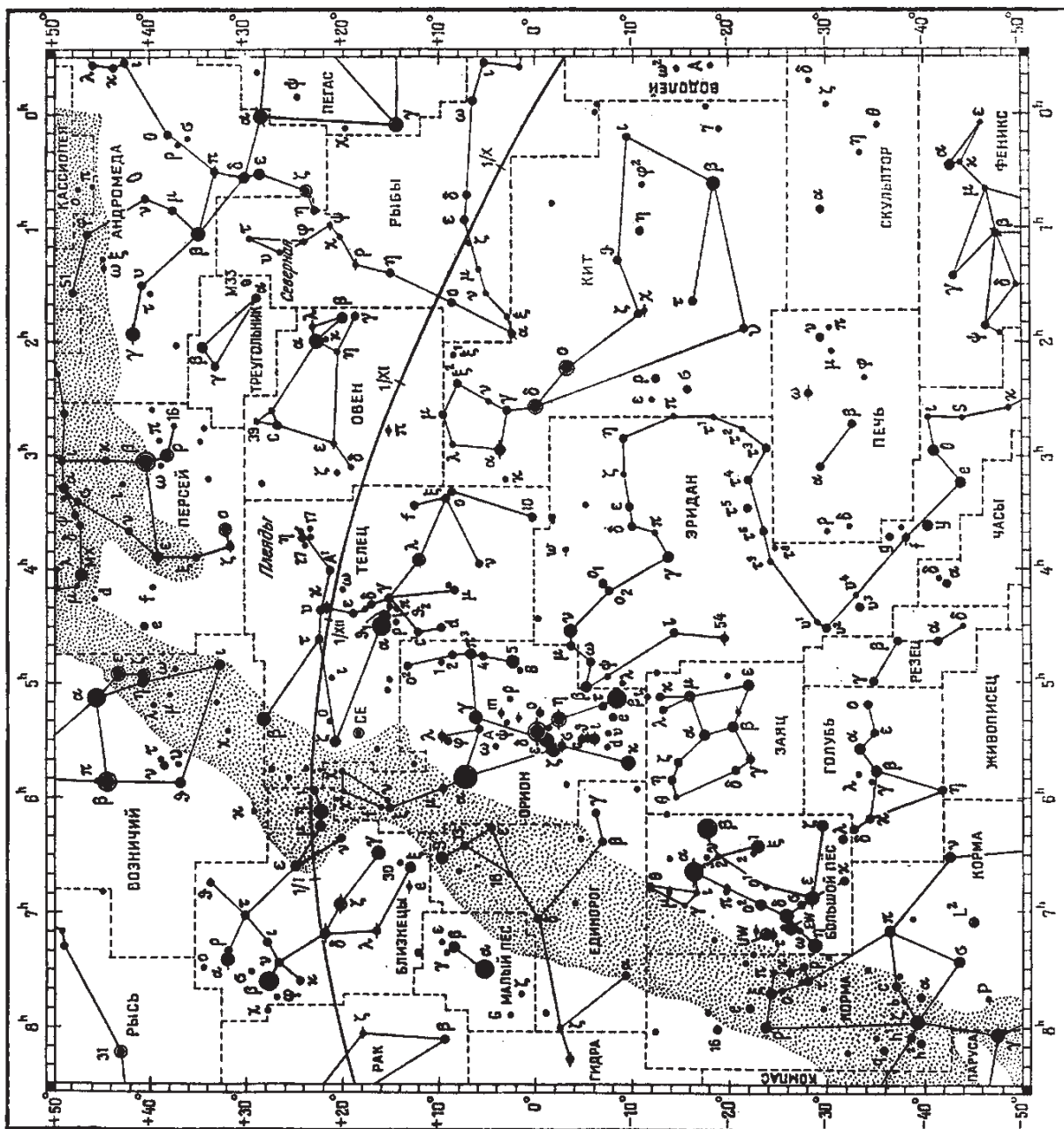


Рис. В.2. Карта осенне-зимнего небосвода.

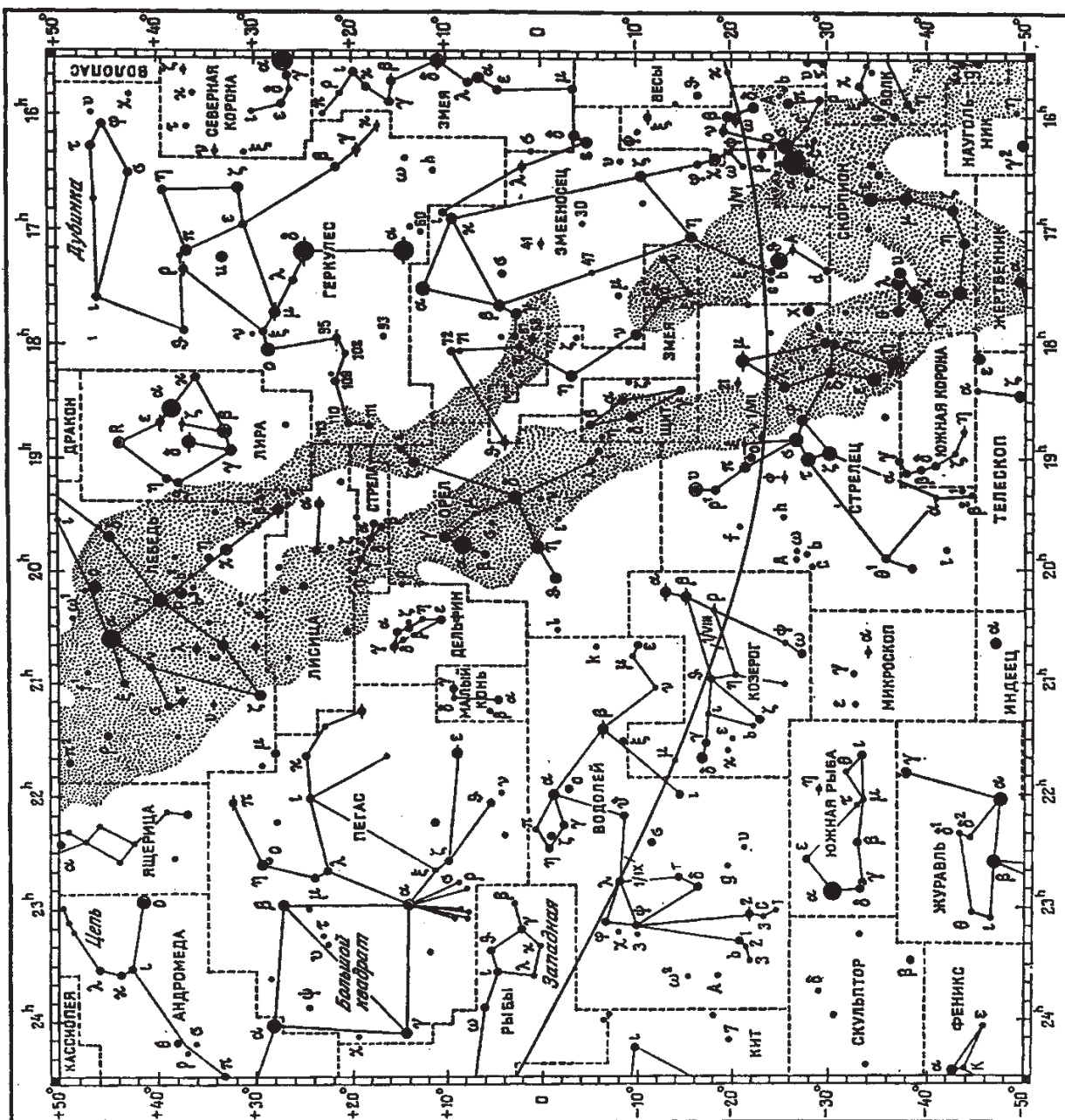


Рис. В.4. Карта летне-осеннего небосвода.

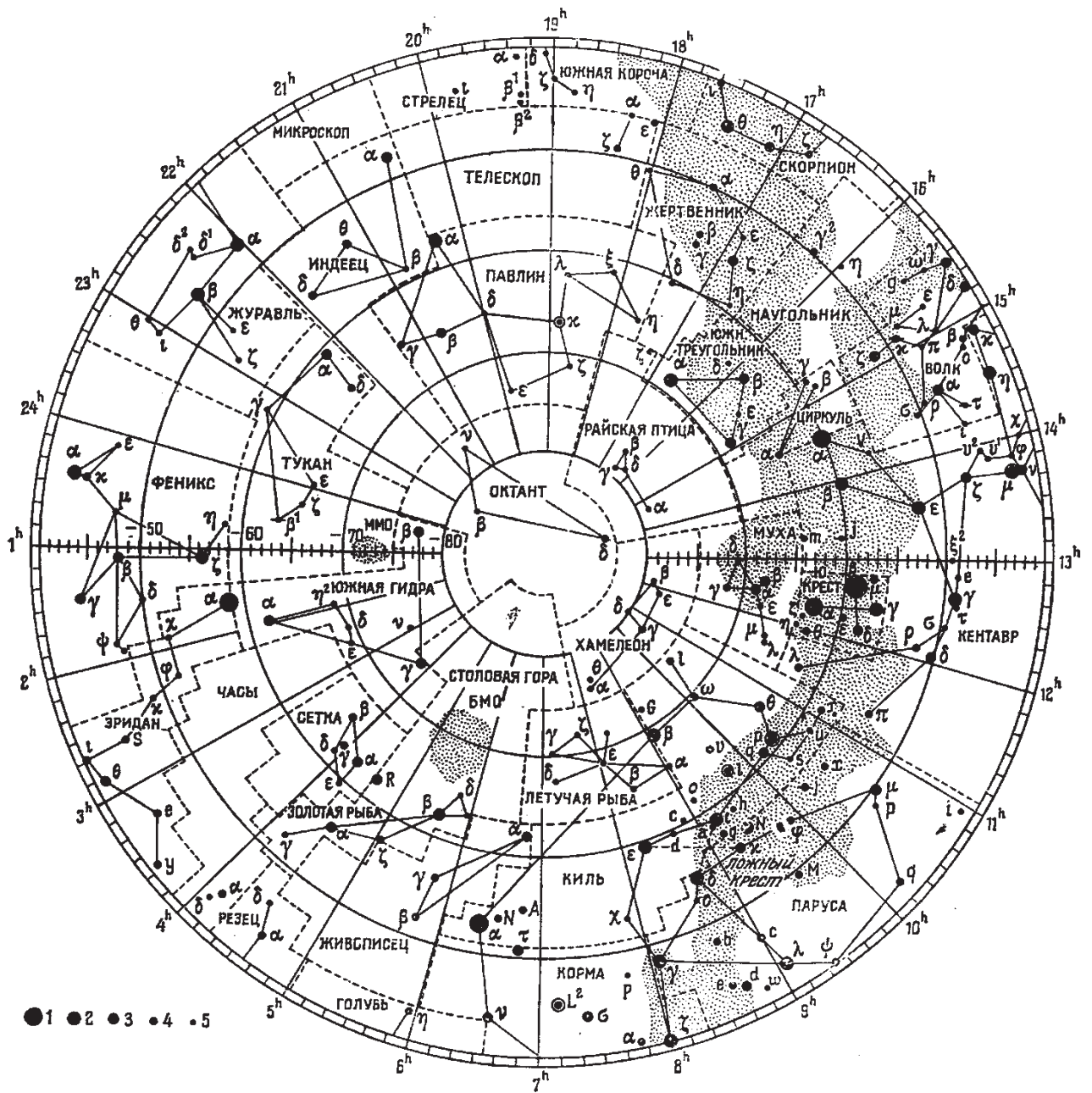


Рис. В.5. Карта южной околополярной области.