

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 10-11 КЛАССОВ.
СЕЗОН: 2023-2024, ТУР № 1



Самара, 2023 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 10-11 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 10-11 классов. Тур № 1». – <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 № 1 на проверку:

15.10.2023-30.11.2023!!!

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. «Достопримечательности созвездий земного небосвода»**

Ответьте на ниже представленные вопросы, выбрав верный из представленных вариантов ответа. В каком созвездии располагается

1. Астеризм "Малый Ковш"? (1 балл)

а) Малая Медведица	б) Большая Медведица	в) Цефей
г) Кассиопея	д) Дракон	е) Рысь

2. Одно из самых больших рассеянных скоплений, Гиады? (1 балл)

а) Телец	б) Кит	в) Близнецы
г) Заяц	д) Печь	е) Голубь

3. Южный полюс эклиптики? (1 балл)

а) Сетка	б) Часы	в) Золотая рыба
г) Живописец	д) Столовая гора	е) Хамелеон

4. Одна из самых ярких галактик северной полушеры небосвода, М33? (1 балл)

а) Пегас	б) Треугольник	в) Андромеда
г) Малый конь	д) Персей	е) Кит

5. Апокс Солнечной системы? (1 балл)

а) Змееносец	б) Геркулес	в) Волопас
г) Дева	д) Северная Корона	е) Змея

6. Северный полюс галактики Млечный Путь? (1 балл)

а) Змееносец	б) Геркулес	в) Волопас
г) Дева	д) Волосы Вероники	е) Змея

7. Рассеянное звездное скопление, представленное на рис. 1.а)? (1 балл)

а) Дельфин	б) Рак	в) Стрела
г) Телец	д) Кассиопея	е) Геркулес

Как называется самая яркая звезда этого скопления? (2 балла)

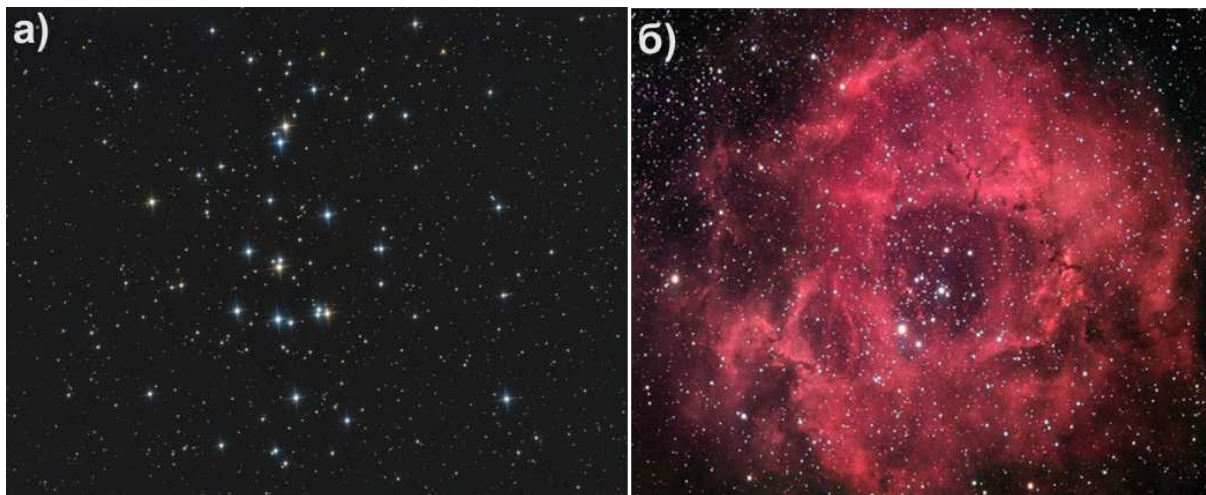


Рис. 1. Фотографии некоторых объектов глубокого космоса.

8. Яркая эмиссионная туманность, представленная на рис. 1.б)? (1 балл)

а) Большой пес	б) Малый пес	в) Орион
г) Единорог	д) Возничий	е) Рак

Как называется рассеянное звездное скопление, расположенное внутри данной туманности? (2 балла)

№2. «Луна и ее фазы»

На рис. 2 представлены девять фотографий Луны в различных фазах, полученных в средних широтах северного географического полушария.

1. Образ Луны с каким номером соответствует фазе новолуния? (1 балл)

2. Какой вид приобретает Луна (указать номер соответствующего образа) спустя 22.1 суток после начала синодического месяца? (1 балл)

3. В какой фазе Луна, как правило, видна после заката Солнца и до полуночи, в западной стороне небосвода? (1 балл)

4. В каких фазах (укажите номера рисунков) Луну можно наблюдать позже первой четверти, но раньше последней четверти? (0.5 балла за кадр)

5. Расположите номера рисунков в порядке, обратном появлению данных фаз Луны в течение ее синодического месяца. (0.5 балла за правильную позицию в последовательности)

№3. «Характеристики некоторых спутников»

Вашему вниманию в табл. 1 представлены данные для масс и радиусов трех небесных тел (Земли (1), Луны (3) и Ганимеда (2) – спутника Юпитера), изображенных в масштабе на рис. 3. С использованием лишь этих данных и линейки, определите:

1. Среднюю массовую плотность Луны и Ганимеда. (2 балла за одно значение)

2. Ускорение свободного падения у поверхностей Луны и Ганимеда. (2 балла за одно значение)

3. Первую космическую скорость у поверхностей Луны и Ганимеда. (2

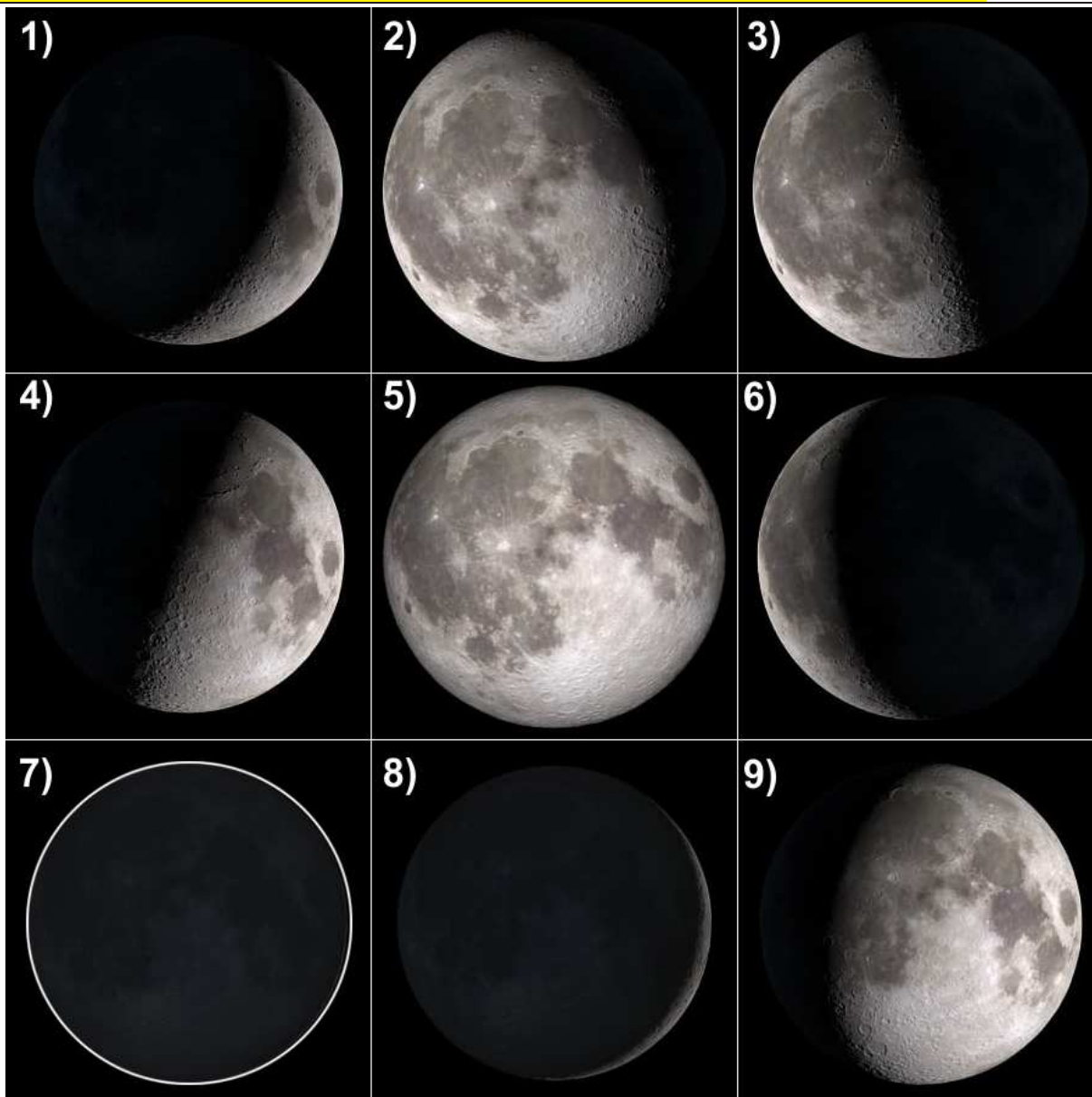


Рис. 2. Луна в различных фазах.

балла за одно значение)

№4. «Фотография затмения»

На рис. 4 представлена фотография затмения, наблюдавшегося с территории Северного географического полушария, полученная с помощью телескопа с фильтром, ослабляющим исходный световой поток в 100 тысяч раз! Определите:

1. Какое небесное тело было затмеваемым, а какое – затмевающим? Ответ представить парой (цифра, буква). (1 балл за пару)

Небесное тело					
1. Затмеваемое тело			2. Затмевающее тело		
Небесное тело					
А. Солнце	В. Земля	С. Луна	Д. Марс	Е. Венера	Ф. Юпитер

2. Какой вид затмения зафиксирован на фотографии? (1 балл)

Планета/ Спутник	Земля (1)	Луна (3)	Ганимед (2)
Масса, кг	$5.97 \cdot 10^{24}$	$7.35 \cdot 10^{22}$	$1.48 \cdot 10^{23}$
Радиус, км	?	?	?
Плотность, кг/м ³	5500	?	?
Ускорение св. падения, м/с ²	9.81	?	?
Первая космич. скорость, км/с	7.91	?	?

Таблица 1. Матрица исходных данных для Земли, Луны и Ганимеда.



Рис. 3. Коллаж фотографий Земли (1), Ганимеда (2) и Луны (3).

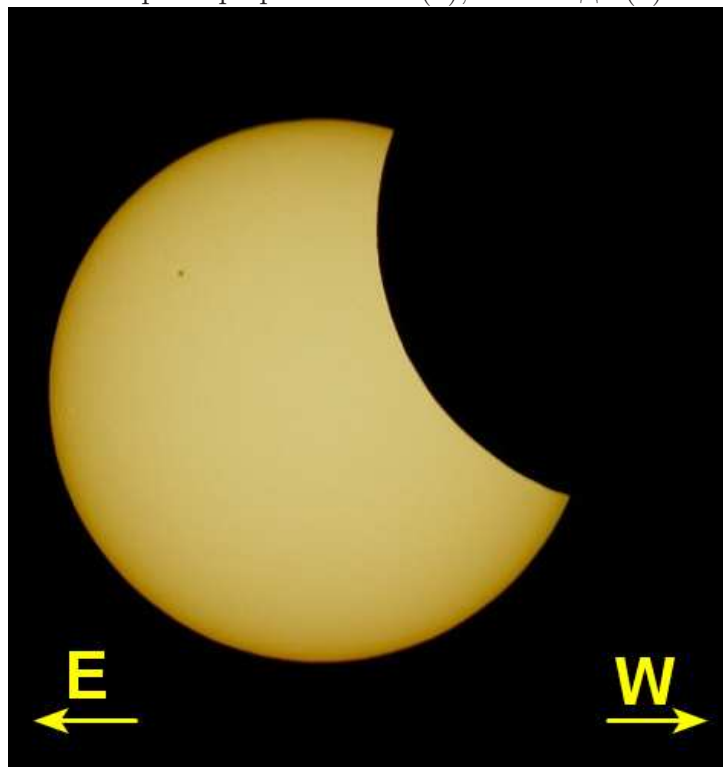


Рис. 4. Фотография затмения.

Вид затмения			
1. Частное	2. Полное	3. Кольцеобразное	4. Полутеневое
5. Невозможно определить			

3. В какой части затмения (по времени) сделана эта фотография? (1 балл)

Временная часть затмения		
1. Начало	2. Середина	3. Конец

4. Оцените фазу затмения в момент получения данной фотографии. (3 балла)

Уровень «Знаток» (уровень В)

Задача №5. «Сеанс дальней радиосвязи и ионосфера Земли»

В начале 20-х годов прошлого столетия советский ученый Шулейкин М. В. обнаружил в ионосфере Земли существование двух областей повышенной концентрации свободных электронов (в виде тонких сферических слоев): первый на высоте, равной 100 км, второй на высоте – 200 км. Дальнейшие исследования этих областей показали, что они играют роль «зеркал» для средних (с частотой $\nu_1 = 3 \cdot 10^5 \div 3 \cdot 10^6$ Гц) и коротких (с частотой $\nu_1 = 3 \cdot 10^6 \div 10^7$ Гц) радиоволн соответственно. Считая Землю шаром, определите:

1. Аналитическую зависимость расстояния (отсчитываемого вдоль поверхности Земли) между передающей и принимающей наземными радиостанциями, от высоты луча излучателя над горизонтом, вдоль которого отправляется радиоимпульс связи. К выводу искомой аналитической зависимости представьте схематичный рисунок, поясняющий ход Ваших рассуждений и демонстрирующий распространение радиоволн. (5 баллов)

2. Максимально возможное расстояние (отсчитываемое вдоль поверхности Земли), на которое можно передать радиопослание посредством средних и коротких волн. (3 балла)

3. Доли от площади поверхности всей Земли, которые составляют зоны покрытия радиосигналом средних и коротких волн для радиостанции, использующей для их распространения ионосферу Земли. (3 балла)

№6. «Форма рельефа и ее особенности»

На рис. 5 представлена форма рельефа (низменность) поверхности некоторой классической планеты. С использованием лишь данного рисунка, линейки и справочных данных, определите:

1. В каком полушарии планеты (северном или южном) располагается данная форма рельефа? Следует полагать, что сетка планетоцентрических координат определяется аналогично географической. (1 балл)

2. Поверхности какой классической планеты принадлежит данная форма рельефа? Свой ответ обоснуйте строго математически. (2 балла)

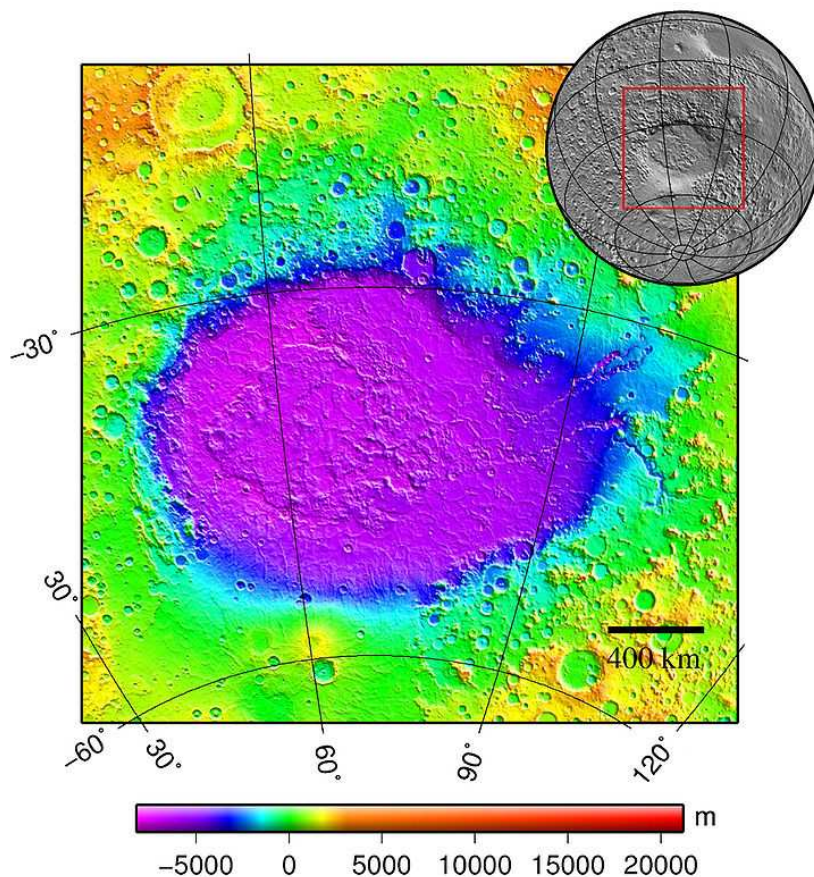


Рис. 5. Форма рельефа поверхности классической планеты.

Оцените:

3. Наибольшую протяженность данной низменности в направлении: **а)** с севера на юг и **б)** с запада на восток, если ее граница располагается на уровне -3000 метров (синяя граница) над средним уровнем поверхности планеты. (3 балла)

4. Площадь поверхности этой низменности (в км^2), полагая, что ее граница располагается на уровне -3000 метров (синяя граница) над средним уровнем поверхности планеты. (3 балла)

5. Долю, которую составляет площадь данной низменности от площади поверхности всей планеты? (3 балла)

№7. «Эклиптическая широта и склонение классической планеты»

Определите максимально широкий интервал возможных значений для

I) эклиптической широты	II) склонения
-------------------------	---------------

классической планеты в приближении:

1) круговой	2) эллиптической орбиты
A) в данный момент	Б) на большом временном интервале.

Изменением кеплеровых элементов орбиты классической планеты (кроме углового расстояния перигелия) на большом временном интервале пренебречь. Численный анализ выполнить на примере 7 классических планет: Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун. (14 баллов)



Рис. 6. Фазы Венеры с февраля по июнь 2004 года.

№8. «Эволюция образа Венеры»

На рис. 6 представлен коллаж фотографий Венеры в различных фазах, полученных с февраля по июнь 2004 года в средних северных широтах. Полагая, что орбиты Земли и Венеры являются круговыми, определите:

1. Образ Венеры от какого числа соответствует конфигурации нижнего соединения? Свой ответ поясните. (1 балл)
2. Образ Венеры от какого числа был наиболее близок к конфигурации наибольшей восточной элонгации? Свой ответ обоснуйте строго математически. (2 балла)
3. Отношение угловых диаметров видимого диска Венеры в конфигурациях нижнего соединения и наибольшей восточной элонгации, посредством аналитических расчетов и по фотографии. Сравните полученные значения. (3 балла)
4. Почему терминатор не проходит через центр видимого диска планеты в наибольшей восточной элонгации? Именем какого ученого назван соответствующий оптический эффект? (2 балла)
5. Спустя какое количество дней после верхнего соединения Венеры автор коллажа начал ее фотографировать? Чему был при этом равен угол ее

элонгации? (4 балла)

6. Оцените среднюю поверхностную яркость (в зв. величинах на квадратную угловую секунду и квадратную угловую минуту) освещенной части видимого диска Венеры в наибольшей восточной элонгации, если ее видимая звездная величина в этот момент составляла -4.5^m . (2 балла)

№9. «Телескоп им. Э. Хаббла и поиск внеземной цивилизации»

Как известно, телескоп им. Э. Хаббла способен фиксировать звезды с звездной величиной вплоть до $+30^m$.

1. Чему равно максимально возможное расстояние до звезды, подобной Солнцу, которую еще может обнаружить этот телескоп в диске нашей Галактики, если межзвездное поглощение света, распространяющегося в его теле, составляет $0.002^m/\text{пк}$? При вычислении расстояния необходимо представить вывод формулы, связывающей видимую и абсолютную звездные величины звезды с расстоянием до нее и учитывающей межзвездное поглощение света. (6 баллов)

2. Какую часть диска Галактики способен обзирать телескоп в поисках звезд, подобных Солнцу? Диаметр диска Галактики равен 30 кпк, а толщина диска – 0.3 кпк. (3 балла)

3. Какое количество солнцеподобных звезд, в принципе, способен наблюдать телескоп в диске Галактики, если последние распределены по нему равномерно, а их концентрация составляет 0.0033 пк^{-3} ? (2 балла)

4. В каком ближайшем году следует ожидать землянам ответа на первое радио послание (Cosmic Call), отправленное разумной цивилизацией в 1999.6 году в рамках проекта METI, в предположении, что последняя обитает в окрестности ближайшей солнцеподобной планеты и тратит пренебрежимо малое время на обработку послания и отправку ответа на той же частоте. (3 балла)

№10. «Треки двух звезд»

С использованием неподвижной зеркальной фотокамеры с широкоугольным объективом была выполнена съемка звезд. При этом главная оптическая ось объектива был ориентирована строго на северный полюс мира. В результате была получена фотография звездных треков. При детальном анализе фотографии было выявлено, что

а) отношение средних значений поверхностных яркостей кольцевых треков двух звезд северной полусферы небосвода, видимые звездные величины которых равны соответственно $m_1 = 1^m$, $m_2 = 6^m$, есть $\alpha = B_1/B_2 = 5$;

б) отношение ширин (h) треков на снимке составляет $\beta = h_1/h_2 = 2.0$;

в) отношение телесных углов, соответствующих шаровым сегментам небесной сферы, заключенным внутри суточных параллелей этих звезд, составляет $z = \Omega_1/\Omega_2 \geq 51$.

Определите минимально возможное склонение (δ_{\min}) звезды, ближайшей к полюсу мира. Рассчитайте соответствующее значение склонения второй звезды. При каком значении z склонения звезд достигают своих экстремальных значений? (15 баллов)



РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ



Уровень «Новичок» (уровень А)

№1. «Достопримечательности созвездий земного небосвода»

1. Хорошо известный астеризм земного небосвода «Малый Ковш» расположен в созвездии Малая Медведица (а). (1 балл)

2. Одно из самых больших рассеянных скоплений – Гиады принадлежит созвездию Тельца (а). (1 балл)

3. Южный полюс эклиптики принадлежит созвездию Золотая рыба (в). (1 балл)

4. Одна из самых ярких галактик северной полушеры небосвода – М33 принадлежит созвездию Треугольника (б). (1 балл)

5. Апекс Солнечной системы расположен в созвездии Геркулеса (б). (1 балл)

6. Северный полюс галактики Млечный Путь находится в созвездии Волосы Вероники (д). (1 балл)

7. На рис. 1.а) представлено рассеянное звездное скопление Ясли (или Улей, М44), расположенное в созвездии Рака (б). (1 балл) Самой яркой звездой скопления является ϵ Рака. (2 балла)

8. На рис. 1.б) представлена яркая эмиссионная туманность – Розетка (NGC 2237), расположенная в созвездии Единорога (г). (1 балл) Внутри данной туманности расположено рассеянное звездное скопление NGC 2244. (2 балла)

№2. «Луна и ее фазы»

1. Образ Луны с номером 7 соответствует фазе новолуния. (1 балл)

2. Как известно, синодический месяц Луны равен 29.5 суток; 22.1 суток составляет $3/4$ от данного месяца. Луна спустя $3/4$ лунного месяца после новолуния находится в фазе третьей (последней) четверти. Данной фазе соответствует образ под номером 3. (1 балл)

3. После заката Солнца и до полуночи, в западной стороне небосвода Луна видна лишь в первой четверти. Этой фазе отвечает образ под номером 4. (1 балл)

4. В фазах, представленных на кадрах 9, 5, 2, Луну можно наблюдать позже первой четверти, но раньше последней четверти. (1.5 балла)

5. Обратный порядок появления данных фаз Луны следующий (4.5 балла):

$$6 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 9 \rightarrow 4 \rightarrow 1 \rightarrow 8 \rightarrow 7.$$

№3. «Характеристики некоторых спутников»

1. Измерим с помощью линейки на рисунке видимые диаметры Земли, Луны и Ганимеда соответственно: $R_{\oplus} = 207$ мм, $R_{\text{л}} = 55$ мм, $R_{\text{Г}} = 88$ мм. Поскольку данные небесные тела изображены на рис. 3 в масштабе, то отно-

шения их линейных действительных размеров должны быть равны отношениям их видимых размеров на рисунке (из соображений подобия). Значит

$$\frac{\mathfrak{R}_{\oplus}}{\mathfrak{R}_{\zeta}} = \frac{R_{\oplus}}{R_{\zeta}} = x = 3.764, \quad \frac{\mathfrak{R}_{\oplus}}{\mathfrak{R}_G} = \frac{R_{\oplus}}{R_G} = y = 2.352.$$

2. Согласно определению, *средней массовой плотностью* небесного тела называется отношение массы тела к его объему. С учетом того факта, что все рассматриваемые тела имеют шарообразную форму, можем записать итоговое выражение для плотности небесного тела массы \mathfrak{M} и радиуса \mathfrak{R} :

$$\rho = \frac{\mathfrak{M}}{\frac{4}{3}\pi \mathfrak{R}^3} = \frac{3}{4\pi} \frac{\mathfrak{M}}{\mathfrak{R}^3}.$$

Запишем данное соотношение для каждого небесного тела и разделим второе и третье уравнения на первое, в результате получаем (2+2 балла)

$$\rho_{\oplus} = \frac{3}{4\pi} \frac{\mathfrak{M}_{\oplus}}{\mathfrak{R}_{\oplus}^3} = 5500 \text{ кг/м}^3, \quad \rho_{\zeta} = \frac{3}{4\pi} \frac{\mathfrak{M}_{\zeta}}{\mathfrak{R}_{\zeta}^3}, \quad \rho_G = \frac{3}{4\pi} \frac{\mathfrak{M}_G}{\mathfrak{R}_G^3}, \quad \Rightarrow$$

$$\frac{\rho_{\zeta}}{\rho_{\oplus}} = \left(\frac{\mathfrak{M}_{\zeta}}{\mathfrak{M}_{\oplus}} \right) \left(\frac{\mathfrak{R}_{\oplus}}{\mathfrak{R}_{\zeta}} \right)^3, \quad \Rightarrow \quad \rho_{\zeta} = \rho_{\oplus} \left(\frac{\mathfrak{M}_{\zeta}}{\mathfrak{M}_{\oplus}} \right) x^3 = 3610 \text{ кг/м}^3.$$

$$\frac{\rho_G}{\rho_{\oplus}} = \left(\frac{\mathfrak{M}_G}{\mathfrak{M}_{\oplus}} \right) \left(\frac{\mathfrak{R}_{\oplus}}{\mathfrak{R}_G} \right)^3, \quad \Rightarrow \quad \rho_G = \rho_{\oplus} \left(\frac{\mathfrak{M}_G}{\mathfrak{M}_{\oplus}} \right) y^3 = 1770 \text{ кг/м}^3.$$

Замечание: полученное значение средней массовой плотности для Ганимеда/Луны несколько занижено/завышено относительно современных точных значений искомых величин, что обусловлено погрешностью измерений, а также не соблюдением точного масштаба представления образов небесных тел при составлении коллажа его автором.

3. Из школьного курса физики известно, что ускорение у поверхности шарообразного тела массы \mathfrak{M} и радиуса \mathfrak{R} определяется по формуле:

$$g = \frac{G \mathfrak{M}}{\mathfrak{R}^2}.$$

Запишем данное соотношение для каждого небесного тела и разделим второе и третье уравнения на первое, в результате получаем (2+2 балла)

$$g_{\oplus} = \frac{G \mathfrak{M}_{\oplus}}{\mathfrak{R}_{\oplus}^2} = 9.81 \text{ м/с}^2, \quad g_{\zeta} = \frac{G \mathfrak{M}_{\zeta}}{\mathfrak{R}_{\zeta}^2}, \quad g_G = \frac{G \mathfrak{M}_G}{\mathfrak{R}_G^2}, \quad \Rightarrow$$

$$\frac{g_{\zeta}}{g_{\oplus}} = \left(\frac{\mathfrak{M}_{\zeta}}{\mathfrak{M}_{\oplus}} \right) \left(\frac{\mathfrak{R}_{\oplus}}{\mathfrak{R}_{\zeta}} \right)^2, \quad \Rightarrow \quad g_{\zeta} = g_{\oplus} \left(\frac{\mathfrak{M}_{\zeta}}{\mathfrak{M}_{\oplus}} \right) x^2 = 1.71 \text{ м/с}^2.$$

$$\frac{g_G}{g_{\oplus}} = \left(\frac{\mathfrak{M}_G}{\mathfrak{M}_{\oplus}} \right) \left(\frac{\mathfrak{R}_{\oplus}}{\mathfrak{R}_G} \right)^2, \quad \Rightarrow \quad g_G = g_{\oplus} \left(\frac{\mathfrak{M}_G}{\mathfrak{M}_{\oplus}} \right) y^2 = 1.35 \text{ м/с}^2.$$

Планета/ Спутник	Земля (1)	Луна (3)	Ганимед (2)
Масса, кг	$5.97 \cdot 10^{24}$	$7.35 \cdot 10^{22}$	$1.075 \cdot 10^{23}$
Радиус, км	6371	–	–
Плотность, кг/м ³	5500	3610	1770
Ускорение св. падения, м/с ²	9.81	1.71	1.35
Первая космич. скорость, км/с	7.91	1.70	1.91

Таблица 2. Матрица исходных и полученных данных для Земли, Луны и Ганимеда.

4. Из курса физики 9-го класса известно, что первая космическая скорость у поверхности шарообразного тела массы \mathcal{M} и радиуса \mathcal{R} определяется по формуле:

$$V_I = \sqrt{\frac{G \mathcal{M}}{\mathcal{R}}}.$$

Запишем данное соотношение для каждого небесного тела и разделим второе и третье уравнения на первое, в результате получаем (2+2 балла)

$$V_I^{(\oplus)} = \sqrt{\frac{G \mathcal{M}_{\oplus}}{\mathcal{R}_{\oplus}}} = 7.91 \text{ км/с}, \quad V_I^{(\zeta)} = \sqrt{\frac{G \mathcal{M}_{\zeta}}{\mathcal{R}_{\zeta}}}, \quad V_I^{(G)} = \sqrt{\frac{G \mathcal{M}_G}{\mathcal{R}_G^2}}, \Rightarrow$$

$$\frac{V_I^{(\zeta)}}{V_I^{(\oplus)}} = \sqrt{\left(\frac{\mathcal{M}_{\zeta}}{\mathcal{M}_{\oplus}}\right) \left(\frac{\mathcal{R}_{\oplus}}{\mathcal{R}_{\zeta}}\right)}, \Rightarrow V_I^{(\zeta)} = V_I^{(\oplus)} \sqrt{\left(\frac{\mathcal{M}_{\zeta}}{\mathcal{M}_{\oplus}}\right) x} = 1.70 \text{ км/с}.$$

$$\frac{V_I^{(G)}}{V_I^{(\oplus)}} = \sqrt{\left(\frac{\mathcal{M}_G}{\mathcal{M}_{\oplus}}\right) \left(\frac{\mathcal{R}_{\oplus}}{\mathcal{R}_G}\right)}, \Rightarrow V_I^{(G)} = V_I^{(\oplus)} \sqrt{\left(\frac{\mathcal{M}_G}{\mathcal{M}_{\oplus}}\right) y} = 1.91 \text{ км/с}.$$

Результаты всех измерений и расчетов представлены в табл. 2.

№4. «Фотография затмения»

1. Согласно условию задачи, данная фотография получена с помощью телескопа с фильтром, ослабляющим исходный световой поток в 100000 раз! Фильтры такого типа применяются для наблюдения лишь Солнца, в силу его исключительной яркости, как самосветящегося тела, значит одно из тел является Солнцем. Очевидно, оно имеет желтый диск. Значит затмеваемым телом было Солнце, а затмевающим – Луна, поскольку лишь у последней угловые размеры сопоставимы с угловыми размерами Солнца, что мы и видим на фотографиях. Кроме того, Луна – несамосветящееся тело, поэтому она имеет черный цвет на фоне яркого Солнца. (2 балла)

2. Вид солнечного затмения всегда определяется максимальной фазой этого затмения. Очевидно, на рис. 4 запечатлена фаза частного затмения, когда Луна своим телом лишь частично закрыла Солнце. Значит авторы фотографий наблюдали *частное солнечное затмение*. (1 балл)

3. Поскольку на земном небосводе самым быстрым небесным телом (по величине собственного движения) является Луна и последняя движется лишь в прямом направлении (с запада на восток), то именно Луна "догоняет" Солнце с западной стороны. Поскольку диск Луны покрыл даже меньше половины

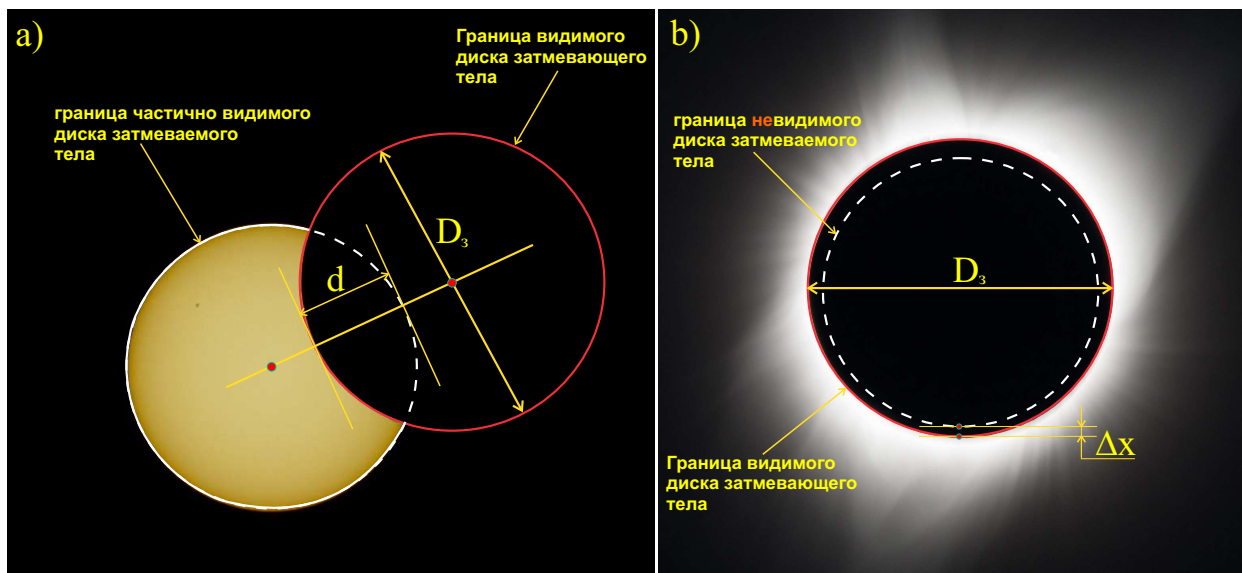


Рис. 7. К определению фазы затмения.

радиуса видимого диска Солнца, то фотография сделана ближе к началу затмения. (1 балл)

4. Из курса астрономии известно, что *фазой затмения* (Φ) называется скалярная геометрическая величина, определяемая выражением:

$$\Phi = \left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{D}, \quad \text{в случае частного затмения,} \\ 1 + \frac{\Delta x}{D}, \quad \text{в случае полного затмения} \end{array} \right\}, \quad (1)$$

здесь d – длина части диаметра видимого диска затмеваемого тела, закрытой затмевающим телом (см. рис. 7.а); этот диаметр должен проходить через центр затмевающего тела; D – диаметр затмеваемого тела; Δx – минимальное расстояние между краями дисков затмевающего и затмеваемого тел, в случае полного затмения (см. рис. 7.б).

С использованием линейки на рис. 4 определим диаметр видимого диска Солнца ($D = 122$ мм) и длину части диаметра Солнца, не покрытую диском Луны, проходящего через центр диска последней ($d' = D - d = 83$ мм). Тогда $d = 39$ мм. По формуле (1) выполняя численный расчет, в результате получаем фазу $\Phi = 0.32$. В качестве ответа принимается значение из интервала: $[0.25, 0.39]$. (3 балла)

Уровень «Знаток» (уровень В)

Задача №5. «Сеанс дальней радиосвязи и ионосфера Земли»

1. Рассмотрим рис. 8, соответствующий условию задачи. Заметим, что отражение волн от ионосферы подчиняется закону отражения светового луча, поэтому вся схема распространения радиосигнала симметрична относительно прямой OC . (2 балла)

2. Расстояние между источником и приемником по поверхности Земли

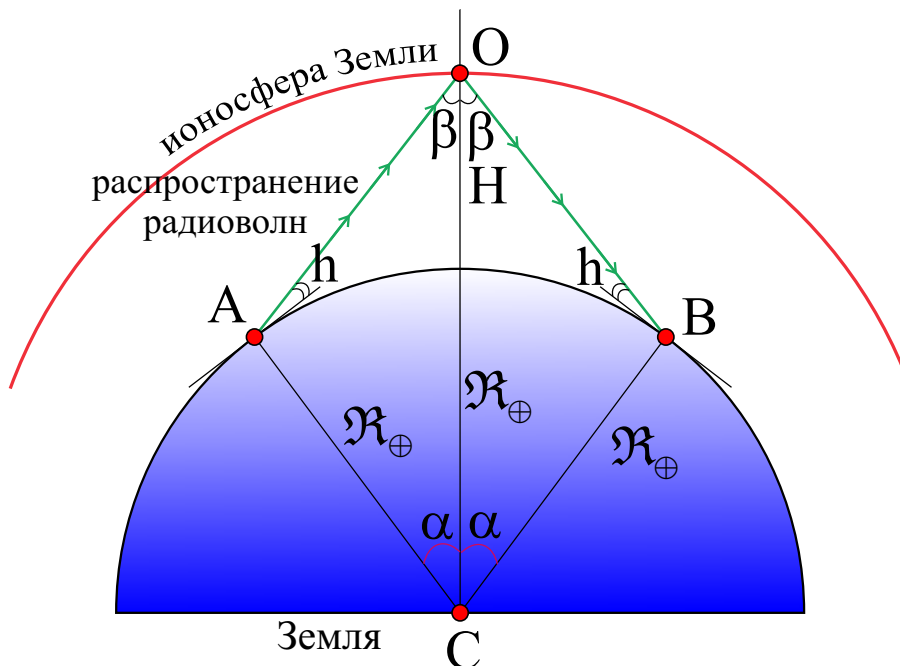


Рис. 8. К определению расстояния между передающей и принимающей наземными радиостанциями.

можно определить как

$$L = \overset{\frown}{AB} = 2\alpha R_{\oplus}.$$

Для определения угла α воспользуемся теоремой синусов для треугольника $\triangle CAO$:

$$\frac{\sin \beta}{R_{\oplus}} = \frac{\sin(90^{\circ} + h)}{R_{\oplus} + H}, \Rightarrow \beta = \arcsin \left[\frac{R_{\oplus}}{R_{\oplus} + H} \cos h \right].$$

Из того же треугольника следует, что (3 балла)

$$180^{\circ} = (90^{\circ} + h) + \beta + \alpha, \Rightarrow \alpha = 90^{\circ} - h - \beta.$$

$$L = 2R_{\oplus}(\pi/2 - h - \beta) = 2R_{\oplus} \left(\pi/2 - h - \arcsin \left[\frac{R_{\oplus}}{R_{\oplus} + H} \cos h \right] \right).$$

3. Из рис. 8 очевидно, что величина L достигает максимального значения при $h = 0^{\circ}$ (1 балл):

$$L_{\max} = 2R_{\oplus} \left(\pi/2 - \arcsin \left[\frac{R_{\oplus}}{R_{\oplus} + H} \right] \right).$$

При $H_1 = 100$ км имеем $L_{\max}^{(1)} = 2243$ км, а при $H_2 = 200$ км имеем $L_{\max}^{(2)} = 3152$ км. (3 балла)

4. Определим максимальное значение угла α , соответствующее значению L_{\max} .

$$\alpha_{\max} = \pi/2 - \arcsin \left[\frac{R_{\oplus}}{R_{\oplus} + H} \right] = \arccos \left[\frac{R_{\oplus}}{R_{\oplus} + H} \right].$$

Максимальная площадь покрытия радиоволнами данного диапазона определяется как площадь шарового сегмента, опирающегося на конус с углом

раствора $2\alpha_{\max}$, определяемая по формуле:

$$S_{\text{ш.с.}} = 2\pi \mathfrak{R}_{\oplus}^2 (1 - \cos 2\alpha_{\max}).$$

Тогда доля от площади поверхности всей Земли, которую составляет зона покрытия радиосигналом радиостанции, использующей для их распространения ионосферу Земли, есть (1 балл)

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{S_{\text{ш.с.}}}{S_{\oplus}} = \frac{2\pi \mathfrak{R}_{\oplus}^2 (1 - \cos 2\alpha_{\max})}{4\pi \mathfrak{R}_{\oplus}^2} = \frac{1}{2}(1 - \cos 2\alpha_{\max}) = \sin^2 \alpha_{\max} = \\ &= \cos^2 \left(\arcsin \left[\frac{\mathfrak{R}_{\oplus}}{\mathfrak{R}_{\oplus} + H} \right] \right) = 1 - \sin^2 \left(\arcsin \left[\frac{\mathfrak{R}_{\oplus}}{\mathfrak{R}_{\oplus} + H} \right] \right). \\ \eta &= 1 - \left(\frac{\mathfrak{R}_{\oplus}}{\mathfrak{R}_{\oplus} + H} \right)^2. \end{aligned} \quad (2)$$

При $H \ll R$ последний результат (с использованием формулы приближенных вычислений для бинома Ньютона, см. приложение А.5) можно представить в виде:

$$\eta = 1 - \left(1 + \frac{H}{\mathfrak{R}_{\oplus}} \right)^{-2} \approx 1 - \left(1 - 2\frac{H}{\mathfrak{R}_{\oplus}} \right) = 2\frac{H}{\mathfrak{R}_{\oplus}}.$$

Искомые доли для зон покрытия средними и короткими волнами составляют соответственно (2 балла):

$$\eta_1 = 1 - \left(\frac{\mathfrak{R}_{\oplus}}{\mathfrak{R}_{\oplus} + H_1} \right)^2 = 0.031, \quad \eta_2 = 1 - \left(\frac{\mathfrak{R}_{\oplus}}{\mathfrak{R}_{\oplus} + H_2} \right)^2 = 0.060.$$

№6. «Форма рельефа и ее особенности»

1. Поскольку широта местоположения низменности – отрицательная величина, то очевидно, последняя находится в южном полушарии планеты. (1 балл)

2. Определим с помощью линейки расстояние между двумя соседними параллелями с широтой в -30° и -60° ($\ell = 83$ мм), измеряемое вдоль меридиана планеты. С использованием масштаба фотографии определим расстояние между данными точками по поверхности планеты:

$$L = \mu_{\ell} \ell = (400 \text{ км}/21.5 \text{ мм}) \cdot 83 \text{ мм} = 1544 \text{ км}.$$

Далее составим пропорцию: 360° планетного меридиана соответствуют его длине $2\pi \mathfrak{R}_p$, а 30° соответствуют дуге L . Откуда следует явное выражение для радиуса планеты:

$$\mathfrak{R}_p = \frac{360^\circ}{30^\circ} \frac{L}{2\pi} = 2950 \text{ км}.$$

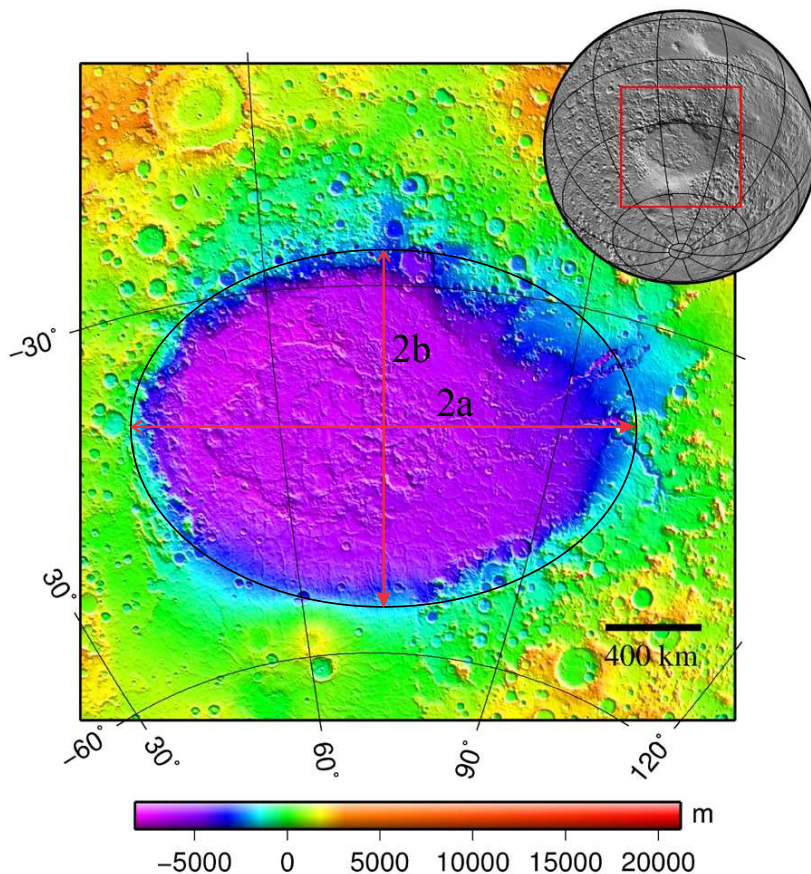


Рис. 9. К определению площади поверхности Марса, занимаемой Элладой.

Последний результат наиболее близок по значению к радиусу Марса (3397 км). Значит данная низменность – достопримечательность Марса. Очевидно, это Ударная впадина Эллада. (2 балла)

3. С использованием линейки легко убедиться в том, что наибольшая протяженность низменности с востока на запад (определяя ее по синей границе) составляет $\ell_1 = 123$ мм, а с севера на юг – $\ell_2 = 93$ мм (1 балл). С использованием масштаба фотографии получаем следующие значения, выраженные в километрах (2 балла):

$$L_1 = \mu_\ell \ell_1 = (400 \text{ км}/21.5 \text{ мм}) \cdot 123 \text{ мм} = 2290 \text{ км},$$

$$L_2 = \mu_\ell \ell_2 = (400 \text{ км}/21.5 \text{ мм}) \cdot 93 \text{ мм} = 1730 \text{ км}.$$

4. Для оценки площади поверхности Марса, занимаемой низменностью заметим, что его видимая граница (по синей линии) близка по форме к эллипсу с большой осью $2a$ и малой полуосью $2b$ (см. рис. 9). Следовательно занимаемую Элладой площадь поверхности планеты можно аппроксимировать эллипсом, оси которого ($2a = 130$ мм и $2b = 92$ мм) необходимо определить по рис. 9. В результате большая и малая полуоси низменности в км составляют (2 балла)

$$A = \mu_\ell \cdot a = (400 \text{ км}/24 \text{ мм}) \cdot 65 \text{ мм} = 1083 \text{ км},$$

$$B = \mu_\ell \cdot b = (400 \text{ км}/24 \text{ мм}) \cdot 46 \text{ мм} = 767 \text{ км}.$$

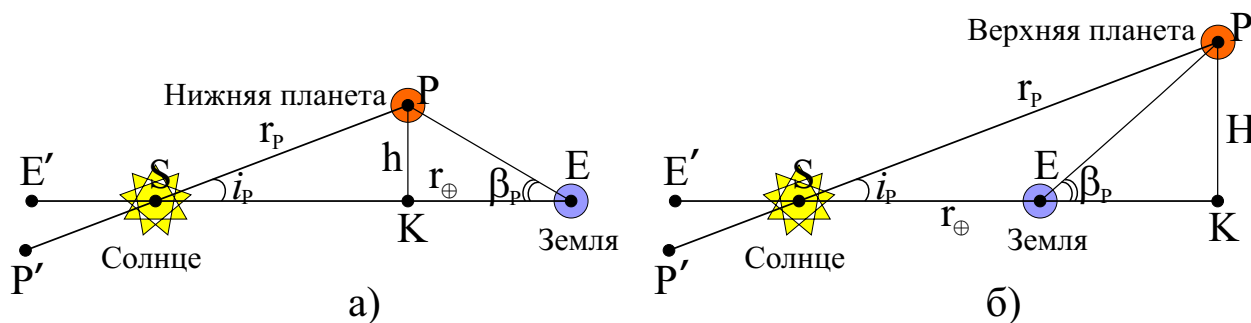


Рис. 10. К определению максимального значения эклиптической широты классической планеты Солнечной системы.

Следовательно искомая площадь Ударной впадины Эллады будет (1 балл)

$$S = \pi \cdot A \cdot B = 2.61 \cdot 10^6 \text{ км}^2.$$

5. Долю, которую составляет площадь, занимаемая данной низменностью, от площади поверхности всей планеты можно определить как (3 балла)

$$\eta = \frac{S}{S_{\sigma}} = \pi \cdot A \cdot B : (4\pi \mathfrak{R}_{\sigma}^2) = \frac{1}{4} \left(\frac{A \cdot B}{\mathfrak{R}_{\sigma}^2} \right) = 1.80 \cdot 10^{-2} \text{ или } 1.80\%.$$

Здесь $S_{\sigma} = 4\pi \mathfrak{R}_{\sigma}^2$ – площадь поверхности Марса, \mathfrak{R}_{σ} – радиус Марса.

№7. «Эклиптическая широта и склонение классической планеты»

1. Рассмотрим далее случай нижней планеты (см. рис. 10.а). Здесь PP' – плоскость орбиты нижней планеты, видимая с ребра; EE' – плоскость орбиты Земли, видимая с ребра; i_P – наклонение орбиты нижней планеты, β_P – максимальное значение ее эклиптической широты; r_{\oplus} , r_P – гелиоцентрические расстояния Земли и планеты соответственно. Рассмотрим треугольник $\triangle SPE$ и воспользуемся для него теоремой синусов (2 балла):

$$\begin{aligned} \frac{\sin(\pi - i_P - \beta_P)}{r_{\oplus}} &= \frac{\sin \beta_P}{r_P}, \Rightarrow r_P \sin(i_P + \beta_P) = r_{\oplus} \sin \beta_P, \Rightarrow \\ r_P(\sin i_P \cos \beta_P + \sin \beta_P \cos i_P) &= r_{\oplus} \sin \beta_P \mid : \cos \beta_P, \Rightarrow \\ r_P(\sin i_P + \operatorname{tg} \beta_P \cos i_P) &= r_{\oplus} \operatorname{tg} \beta_P, \Rightarrow \operatorname{tg} \beta_P = \frac{r_P \sin i_P}{r_{\oplus} - r_P \cos i_P}. \end{aligned} \quad (3)$$

Очевидно, что для данной планеты наклонение орбиты – фиксированная величина. Из формулы (3) следует, что чем больше гелиоцентрическое расстояние планеты и чем меньше будет гелиоцентрическое расстояние до Земли, тем больше будет дробь и тем больше будет ее эклиптическая широта. Определим r_P, r_{\oplus} в случае круговых и эллиптических орбит (1 балл):

Круговые орбиты	Эллиптические орбиты
$r_P = a_P, r_{\oplus} = a_{\oplus}$	$r_P = a_P(1 + \varepsilon_P), r_{\oplus} = a_{\oplus}(1 - \varepsilon_{\oplus})$

Здесь a_P, a_{\oplus} – большие полуоси орбит нижней планеты и Земли соответственно; $\varepsilon_P, \varepsilon_{\oplus}$ – их эксцентриситеты.

В итоге максимальная эклиптическая широта в случае круговой/эллиптической орбиты и искомые интервалы представляются в виде (4 балла):

Круговые орбиты планет	
А) в данный момент	Б) на большом временном интервале
$\beta_P^{(0)} = \arctg \frac{a_P \sin i_P}{a_{\oplus} - a_P \cos i_P}$	
Максимально широкий интервал значений для эклиптической широты	
$[-\beta_P^{(0)}; \beta_P^{(0)}]$	
Максимально широкий интервал значений для склонения	
$[-(\beta_P^{(0)} + \delta_E); \beta_P^{(0)} + \delta_E]$	$[-(\beta_P^{(0)} + \varepsilon); \beta_P^{(0)} + \varepsilon]$
Эллиптические орбиты планет	
А) в данный момент	Б) на большом временном интервале
$\beta_P^{(1)} = \arctg \frac{r'_P \sin i_P}{r'_{\oplus} - r'_P \cos i_P}$	$\beta_P^{(2)} = \arctg \frac{a_P(1+\varepsilon_P) \sin i_P}{a_{\oplus}(1-\varepsilon_{\oplus}) - a_P(1+\varepsilon_P) \cos i_P}$
Максимально широкий интервал значений для эклиптической широты	
$[-\beta_P^{(1)}; \beta_P^{(1)}]$	$[-\beta_P^{(2)}; \beta_P^{(2)}]$
Максимально широкий интервал значений для склонения	
$[-(\beta_P^{(1)} + \delta_E); \beta_P^{(1)} + \delta_E]$	$[-(\beta_P^{(2)} + \varepsilon); \beta_P^{(2)} + \varepsilon]$

Пояснения:

а) При определении $\beta_P^{(1)}$ использованы значения r'_P, r'_{\oplus} (их необходимо задать дополнительно) гелиоцентрических расстояний до планет, определенные в момент, когда нижняя планета оказывается в самой верхней точке своей орбиты относительно плоскости орбиты Земли, при этом последняя расположена в плоскости, содержащей Солнце и планету и перпендикулярной плоскости земной орбиты.

б) При вычислении искомого максимального значения угла $\beta_P^{(2)}$ на большом временном интервале учтено, что орбиты планет прецессируют в своих плоскостях. В результате этого обязательно наступит момент, когда наивысшая точка орбиты планеты совпадет с ее афелием, при этом Земля окажется в своем перигелии.

в) Интервал возможных значений (ИВЗ) для склонения планеты в данный момент задан «оценкой сверху» для максимального значения склонения (на самом деле интервал будет уже из-за несовпадения кругов широты и склонений); здесь δ_E – склонение точки эклиптики, расположенной на одном круге склонения с рассматриваемой планетой (его необходимо задать дополнительно).

г) В случае определения склонения планеты на большом временном интервале также учтено, что наивысшая точка орбиты планеты будет расположена над точкой летнего солнцестояния на одном круге склонения.

2. Рассмотрим далее *случай верхней планеты* (см. рис. 10.б). Здесь все обозначения по смыслу аналогичны предыдущему случаю. Рассмотрим тре-

угольники $\triangle SPK$ и $\triangle EPK$ и определим из них высоту H (2 балла):

$$H = r_p \sin i_p, \text{ иначе } H = (r_p \cos i_p - r_{\oplus}) \operatorname{tg} \beta_p, \Rightarrow \operatorname{tg} \beta_p = \frac{r_p \sin i_p}{r_p \cos i_p - r_{\oplus}}. (4)$$

Из формулы (4) и рис. 10.б) следует, что чем меньше гелиоцентрическое расстояние планеты и чем больше будет гелиоцентрическое расстояние до Земли, тем больше будет дробь и тем больше будет ее эклиптическая широта. В итоге имеем (5 баллов):

Круговые орбиты планет	
А) в данный момент	Б) на большом временном интервале
$\beta_p^{(0)} = \operatorname{arctg} \frac{a_p \sin i_p}{a_p \cos i_p - a_{\oplus}}$	
Максимально широкий интервал значений для эклиптической широты	
$[-\beta_p^{(0)}; \beta_p^{(0)}]$	
Максимально широкий интервал значений для склонения	
$[-(\beta_p^{(0)} + \delta_E); \beta_p^{(0)} + \delta_E]$	$[-(\beta_p^{(0)} + \varepsilon); \beta_p^{(0)} + \varepsilon]$
Эллиптические орбиты планет	
А) в данный момент	Б) на большом временном интервале
$\beta_p^{(1)} = \operatorname{arctg} \frac{r'_p \sin i_p}{r'_p \cos i_p - r'_{\oplus}}$	$\beta_p^{(2)} = \operatorname{arctg} \frac{a_p(1-\varepsilon_p) \sin i_p}{a_p(1-\varepsilon_p) \cos i_p - a_{\oplus}(1+\varepsilon_{\oplus})}$
Максимально широкий интервал значений для эклиптической широты	
$[-\beta_p^{(1)}; \beta_p^{(1)}]$	$[-\beta_p^{(2)}; \beta_p^{(2)}]$
Максимально широкий интервал значений для склонения	
$[-(\beta_p^{(1)} + \delta_E); \beta_p^{(1)} + \delta_E]$	$[-(\beta_p^{(2)} + \varepsilon); \beta_p^{(2)} + \varepsilon]$

Выполним численный анализ результатов для семи классических планет.

Планета	a_p , а. е.	ε_p	i_p , град	$\beta_p^{(0)}$, град	$\beta_p^{(1)}$, град	$\beta_p^{(0)} + \varepsilon$, град	$\beta_p^{(2)} + \varepsilon$, град
Меркурий	0.3871	0.2056	7.004	4.383	6.244	28.250	30.111
Венера	0.7233	0.0068	3.394	8.757	9.546	32.624	33.413
Марс	1.5237	0.0934	1.850	5.374	6.985	29.240	30.852
Юпитер	5.2028	0.0483	1.308	1.619	1.646	25.486	25.513
Сатурн	9.5388	0.0560	2.488	2.779	2.805	26.646	26.671
Уран	19.1914	0.0461	0.774	0.817	0.820	24.683	24.686
Нептун	30.0611	0.0097	1.774	1.835	1.837	25.701	25.703

Таблица 3. К определению используемых кеплеровых элементов орбит и значений искомых углов.

№8. «Эволюция образа Венеры»

1. Венера в нижнем соединении по отношению к Земле располагается на минимальном расстоянии (см. рис. 11), при этом ее угловой диаметр должен быть максимальным. В этот момент планета ориентирована к Земле своей

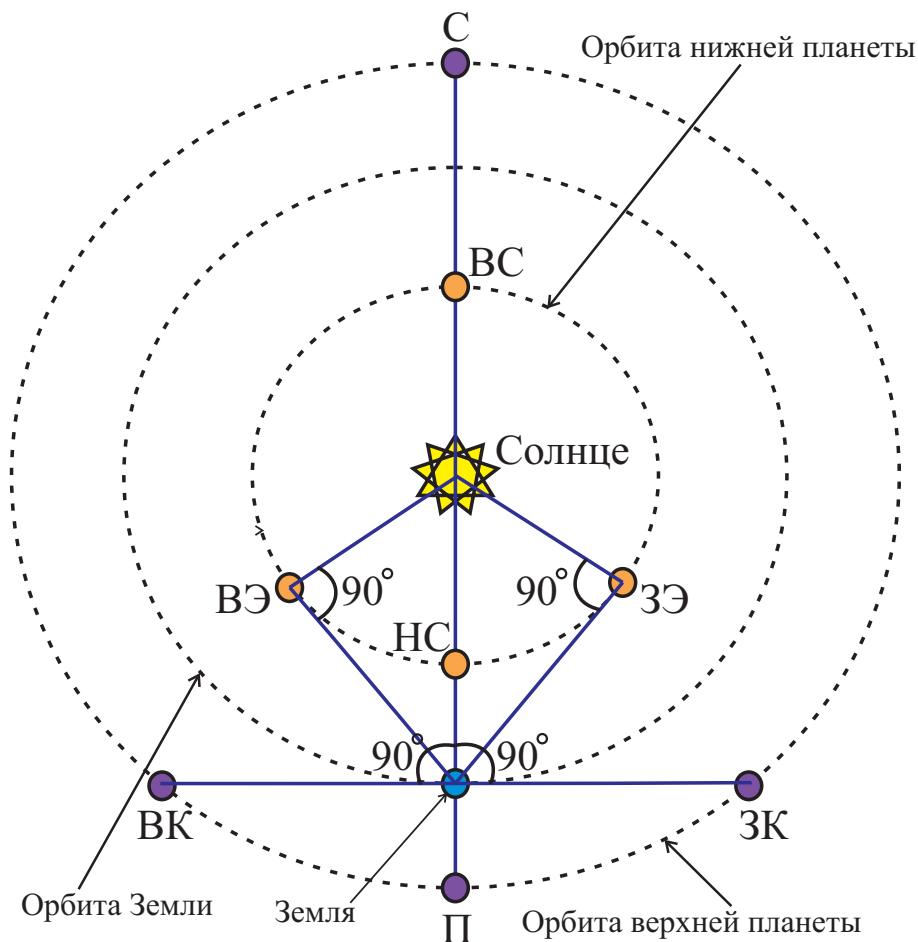


Рис. 11. К определению основных конфигураций нижних и верхних планет с точки зрения земного наблюдателя. Здесь в случае нижней планеты: ВС – верхнее соединение, HC – нижнее соединение, ВЭ – наибольшая восточная элонгация, ЗЭ – наибольшая западная элонгация; в случае верхней планеты: С – соединение, П – противостояние, ВК – восточная квадратура, ЗК – западная квадратура.

неосвещенной стороной и может быть видна с Земли лишь благодаря рассеянию проходящего света верхними слоями ее атмосферы. Описанному образу соответствует изображение от 8 июня 2004 года. (1 балл)

2. Вычислим промежуток времени, проходящий от момента наибольшей восточной элонгации до момента нижнего соединения. Для этого согласно рис. 11, определим угол $\Delta\varphi$ между гелиоцентрическими радиус-векторами Венеры и Земли в данной конфигурации:

$$\cos \Delta\varphi = \frac{a_{\text{В}}}{a_{\text{З}}}, \Rightarrow \Delta\varphi = \arccos\left(\frac{a_{\text{В}}}{a_{\text{З}}}\right) = 43.67^\circ.$$

Следовательно, искомый промежуток времени можно представить так

$$\tau_0 = \frac{\Delta\varphi}{360^\circ/S_{\text{В}}} = S_{\text{В}} \frac{\Delta\varphi}{360^\circ} = 70.83 \text{ сут} \approx 71 \text{ сут},$$

здесь $S_{\text{В}} = 584$ сут – синодический период Венеры.

Т.о., конфигурация наибольшей восточной элонгации была достигнута за 71 сутки до нижнего соединения, т.е. 29 марта 2004 года. Образ Венеры от 27 марта 2004 года наиболее близок к указанной конфигурации. (2 балла)

3. Согласно определению, *угловой диаметр небесного тела* – это угол, под которым виден диаметр видимого диска шарообразного тела, т.е.

$$\mathcal{D} = \frac{2\mathfrak{R}_{\ominus}}{\Delta} 206265'',$$

здесь \mathfrak{R}_{\ominus} – линейный радиус Венеры, Δ – геоцентрическое расстояние Венеры. Значит отношение угловых диаметров Венеры в конфигурациях нижнего соединения и наибольшей восточной элонгации есть (2 балла)

$$\frac{\mathcal{D}_{\text{нс}}}{\mathcal{D}_{\text{нвэ}}} = \frac{\sqrt{a_{\oplus}^2 - a_{\ominus}^2}}{a_{\ominus} - a_{\oplus}} = \sqrt{\frac{a_{\ominus} + a_{\oplus}}{a_{\ominus} - a_{\oplus}}} = 2.50.$$

По рис. 6 определим диаметры дисков Венеры на изображениях от 27 марта и 8 июня, выраженные в миллиметрах: $d_{27} = 30$ мм, $d_{08} = 89$ мм. Искомое отношение величин по рис. 6 представляется в виде (1 балл):

$$\frac{\mathcal{D}_{\text{нс}}}{\mathcal{D}_{\text{нвэ}}} \approx \frac{d_{08}}{d_{27}} = 2.97.$$

Из сопоставления отношений можно утверждать, что искомые отношения близки по значениям, но не совпадают между собой.

4. Еще в 1790 г. известный наблюдатель планет И. Шрётер заметил, что наблюдаемый момент дихотомии Венеры (когда ее фаза равна точно 0.5, т.е. когда терминатор представляет собой прямую линию) не совпадает с предвычисленным, эфемеридным моментом, а отличается от него на несколько суток. Восточная дихотомия (вечерняя видимость, когда фаза Венеры убывает) обычно наступает на несколько дней раньше, а западная дихотомия (утренняя видимость, когда фаза Венеры нарастает) – на несколько дней позже. Это явление получило название *эффекта Шрётера*, поскольку Шрётер был первым, кто в 1793 г. привлек внимание к этому явлению. (1 балл)

Причина этого явления науке точно не известна. Согласно одной из современных гипотез, возможно, область терминатора (граница между ночью и днем) просто является менее яркой, чем остальная часть освещенного полушария Венеры и потому видится с Земли темной. Согласно гипотезе Бронштейна В.А., эффект Шрётера – не что иное, как систематические ошибки наблюдений, связанные с психофизиологическими особенностями зрения. (1 балл)

5. Определим в какой именно день состоялось ближайшее верхнее соединение Венеры. Для этого из даты нижнего соединения необходимо отнять половину ее синодического периода, т.е. 292 суток, в результате получаем 21 августа 2003 года. Автор начал съемку 27 февраля 2004 года, т.е. спустя 190 суток после верхнего соединения. (1 балл)

Для определения угла элонгации вычислим угол ψ , на который отклонилась Венера от прямой «Земля-Солнце» спустя 190 суток, миновав конфигурацию верхнего соединения. Очевидно, его можно записать в виде (1 балл):

$$\psi = 360^\circ \left(\frac{190 \text{ сут}}{S_{\text{В}}} \right) = 117.1^\circ.$$

Следовательно, угол «Венера-Солнце-Земля» в тот же момент равен $180^\circ - \psi$. С использованием теоремы косинусов определим расстояние между планетами на момент начала съемки:

$$\Delta = \sqrt{a_{\oplus}^2 + a_{\text{В}}^2 - 2a_{\oplus} a_{\text{В}} \cos(180^\circ - \psi)} = 0.930 \text{ а.е.}$$

Используя теорему синусов, можно явно определить искомый угол элонгации α на 27 февраля 2004 года (2 балла):

$$\frac{\sin \alpha}{a_{\text{В}}} = \frac{\sin(180^\circ - \psi)}{\Delta}, \Rightarrow \alpha = \arcsin \left[\frac{a_{\text{В}}}{\Delta} \sin \psi \right] = 43.8^\circ.$$

Т.о., автор коллажа начал съемку незадолго до наибольшей восточной элонгации.

6. Поверхностная яркость B освещенной части диска Венеры с угловым диаметром $\mathcal{D}_{\text{ВВЗ}}$ определяется выражением:

$$B_{\text{В}} = \frac{E_{\text{В}}}{\Omega} = \frac{E_{\text{В}}}{\frac{1}{2}(\pi \mathcal{D}_{\text{ВВЗ}}^2/4)}, \Rightarrow \frac{E_{\text{В}}}{B_{\text{В}} \Omega_0} = \frac{\Omega}{\Omega_0}, \text{ где } \Omega = \frac{1}{2}(\pi \mathcal{D}_{\text{ВВЗ}}^2/4). \quad (5)$$

Здесь $E_{\text{В}}$ – освещенность, создаваемая Венерой у поверхности Земли в видимом диапазоне; Ω – телесный угол, под которым видна наблюдателю часть диска планеты с угловым диаметром $\mathcal{D}_{\text{ВВЗ}}$ в наибольшей восточной элонгации, Ω_0 – единичный телесный угол в соответствующей размерности, удобной для вычислений в данных условиях.

С использованием формулы Погсона определим звездную величину, соответствующую поверхностной яркости B рассматриваемого объекта (1 балл):

$$m_{\text{В}} - m_B = -2.5 \lg \left(\frac{E_{\text{В}}}{B_{\text{В}} \Omega_0} \right), \Rightarrow m_B = m_{\text{В}} + 2.5 \lg \left(\frac{\Omega}{\Omega_0} \right). \quad (6)$$

Учтем далее, что угловой диаметр Венеры в данной конфигурации есть

$$\mathcal{D}_{\text{ВВЗ}} = \frac{2 \mathfrak{R}_{\text{В}}}{\sqrt{a_{\oplus}^2 - a_{\text{В}}^2}} 3438' = 0.40' = 24''.$$

Численный расчет m_B по формуле (6), с использованием последнего результата, дает значения $m_B = -7.5^{\text{m}}/\text{кв. угл. мин.}$ или $m_B = 1.39^{\text{m}}/\text{кв. угл. сек.}$ (1 балл)

№9. «Телескоп им. Э. Хаббла и поиск внеземной цивилизации»

1. Пусть L_{\odot} – светимость Солнца, тогда интенсивность излучения, создаваемая звездой, подобной Солнцу, на расстоянии r , без учета поглощения света, будет представляться в виде (1 балл):

$$I = \frac{L_{\odot}}{4\pi r^2}. \quad (7)$$

Интенсивность, создаваемая данной звездой, расположенной на расстоянии 10 парсек от наблюдателя, без учета поглощения света, может быть записана в виде:

$$I_0 = \frac{L_{\odot}}{4\pi r_0^2}, \quad \text{где } r_0 = 10 \text{ пк.} \quad (8)$$

Учет поглощения света межзвездной средой приводит к появлению дополнительного множителя у освещенности, обусловленного законом Бугера-Ламберта:

$$I_{abs} = I e^{-k r} = I 10^{-\gamma r} = \frac{L_{\odot}}{4\pi r^2} 10^{-0.4 A r}, \quad \text{где } A = 0.002^m / \text{пк.}$$

Найдем отношение освещенностей (1 балл):

$$\frac{I_{abs}}{I_0} = \left(\frac{r_0}{r}\right)^2 10^{-0.4 A r}.$$

Прологарифмируем последний результат и воспользуемся формулой Погсона, в результате получаем

$$\lg\left(\frac{I_{abs}}{I_0}\right) = \lg\left(\frac{r_0}{r}\right)^2 + \lg(10^{-0.4 A r}), \Rightarrow m - M_{\odot} = -2.5 \lg\left(\frac{I_{abs}}{I_0}\right), \Rightarrow$$

$$m = M_{\odot} + 5 \lg(r) - 5 + A \cdot r. \quad (9)$$

Последний результат определяет видимую звездную величину звезды как функцию ее абсолютной звездной величины, расстояния, с учетом поглощения света межзвездной средой. (2 балла)

2. В нашем случае $m = +30^m$, $M_{\odot} = 4.83^m$. Следовательно, необходимо решить трансцендентное уравнение вида:

$$B - A \cdot r = 5 \lg(r), \quad \text{где } B = m - M_{\odot} + 5. \quad (10)$$

Последнее уравнение можно решить как численным образом, так и графически. Рассмотрим последний метод решения подробнее. Будем полагать, что у нас есть две функции, зависящие от расстояния r :

$$f_1(r) = B - A \cdot r, \quad f_2(r) = 5 \lg(r).$$

Найдем точку пересечения кривых данных функций (см. рис. 12). Из графика видно, что точка пересечения расположена в окрестности значения $r_1 = 5700$ пк. Точный численный расчет дает значение $r_2 = 5696.1$ пк. (2 балла)

3. Поскольку толщина галактического диска много меньше полученного расстояния r_1 , то данный диск можно считать тонким. Значит область, охватываемая телескопом в наблюдениях, представляет собой круг радиусом r_1 , центр которого совпадает с Солнцем. Тогда искомая часть диска Галактики определяются выражением:

$$\eta = \frac{\pi r_1^2}{\pi (D_d/2)^2} = 0.144, \text{ или } 14.4\%,$$

здесь $D_d = 30$ кпк – диаметр диска Галактики. (3 балла)

4. Количество звезд, подобных Солнцу, охватываемых в наблюдениях телескопом, можно определить как

$$N_* = n_* \pi r_1^2 h_d = 1.01 \cdot 10^8 \text{ звезд}, \quad (11)$$

здесь $n_* = 0.0033 \text{ пк}^{-3}$ – концентрация солнцеподобных звезд, $h_d = 0.3$ кпк – толщина диска Галактики. (2 балла)

5. С использованием объемной концентрации солнцеподобных звезд, оценим среднее расстояние между двумя такими звездами в диске Галактики. Для этого будем полагать, что все солнцеподобные звезды расположены в центрах кубов, образующих кубическую решетку, при этом размер ребра одного такого куба много меньше любого размера (D_d, h_d) диска Галактики. Объем одного такого куба:

$$V_1 = a^3 \text{ иначе } V_1 = \frac{\pi (D_d/2)^2 h_d}{N_{\text{tot}}} = \frac{1}{n_*},$$

здесь N_{tot} – общее количество солнцеподобных звезд в Галактике. Нетрудно убедиться, что среднее расстояние Δ между такими звездами равно величине ребра куба a , т.е.

$$\Delta = a = \frac{1}{\sqrt[3]{n_*}} = 6.717 \text{ пк} = 21.9 \text{ св.г.} \ll h_d, D_d.$$

Следовательно, минимальное время ожидания ответа равно времени блуждания сигнала от Солнца до ближайшей солнцеподобной звезды и обратно:

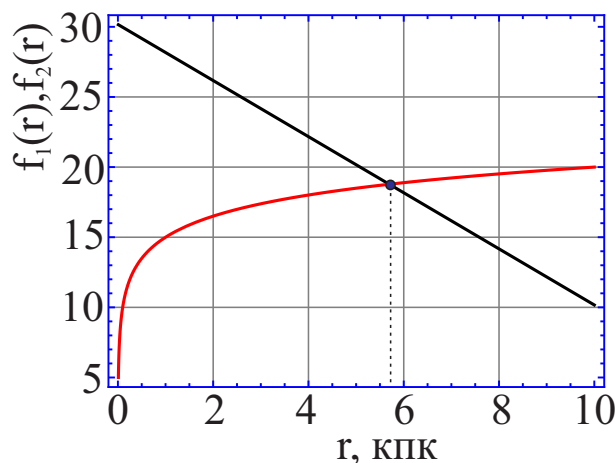


Рис. 12. К определению зависимостей $f_1(r)$, $f_2(r)$.

$$\tau_{\min} = \frac{2\Delta}{c} = 43.8 \text{ лет.} \quad (12)$$

Значит ближайший год ожидания ответа разумной цивилизации: $1999.6 + 43.8 = 2043.4$ году. (3 балла)

№10. «Треки двух звезд»

Очевидно, под *поверхностной яркостью* звездного трека понимается отношение световой энергии, упавший от звезды на данный трек, к величине площади этого трека (1 балл):

$$B = \frac{W}{S_{tr}} = \frac{E \cdot S_{об} \cdot \Delta t}{\varphi \cdot R \cdot h}, \quad (13)$$

здесь E – освещенность, создаваемая звездой на поверхности объектива фотокамеры, $S_{об}$ – площадь рабочей поверхности объектива, Δt – время выдержки при съемке треков; φ – угол поворота звезды относительно полюса мира за время съемки Δt ; R, h – радиус кривизны и ширина трека на фотографии. Очевидно, параметры φ и R можно записать так (1 балл)

$$\varphi = \omega_{\oplus} \cdot \Delta t, \quad R = \mu F \operatorname{tg} p, \quad (14)$$

здесь ω_{\oplus} – угловая скорость суточного вращения Земли, F – фокусное расстояние объектива, p – полярное расстояние звезды, μ – кратность увеличения первичного изображения до размеров фотографии. Из выражений (13) и (14) следует (2 балла)

$$E = \frac{B \omega_{\oplus} \mu F h \operatorname{tg} p}{S_{об}}. \quad (15)$$

С использованием формулы Погсона можем записать (1 балл)

$$x = \frac{E_1}{E_2} = 10^{0.4(m_2 - m_1)} = 100.$$

Иначе

$$x = \frac{E_1}{E_2} = \left(\frac{B_1}{B_2} \right) \left(\frac{\operatorname{tg} p_1}{\operatorname{tg} p_2} \right) \left(\frac{h_1}{h_2} \right) = \alpha \cdot \beta \left(\frac{\operatorname{tg} \delta_1}{\operatorname{tg} \delta_2} \right).$$

Здесь учтена связь между полярным расстоянием и склонением звезды: $p = 90^\circ - \delta$. Поскольку наблюдения ведутся в северной полусфере небосвода, то $0^\circ \leq \delta_1, \delta_2 \leq 90^\circ$, следовательно, с использованием основного тригонометрического тождества, можно записать последнее уравнение в виде (2 балла):

$$\left(\frac{\sin^2 \delta_2}{\sin^2 \delta_1} \right) \left(\frac{1 - \sin^2 \delta_1}{1 - \sin^2 \delta_2} \right) = A, \quad \text{где } A = \left(\frac{x}{\alpha \cdot \beta} \right)^2 = 100. \quad (16)$$

Как известно, телесный угол, соответствующий шаровому сегменту с углом раствора p , можно представить как (1 балл)

$$\Omega = 2\pi(1 - \cos \theta).$$

В случае сегментов, ограниченных суточными параллелями звезд, получаем (1 балл)

$$z = \frac{\Omega_1}{\Omega_2} = \frac{1 - \cos p_1}{1 - \cos p_2}, \Rightarrow z = \frac{1 - \sin \delta_1}{1 - \sin \delta_2}. \quad (17)$$

Очевидно, звезда «2» должна быть расположена вблизи полюса мира, а звезда «1» ближе к небесному экватору (в силу большого значения z), значит $\sin \delta_2$ должен быть близок к 1, а $\sin \delta_1$ должен быть небольшой величиной. Сделаем замену переменных вида:

$$\sin \delta_1 = s, \quad \sin \delta_2 = 1 - t, \quad \text{причем } 0 < t \ll 1, \quad 0 \leq s < 1.$$

Тогда уравнения (16) и (17) можно записать так (1 балл)

$$(1 - t)^2(1 - s^2) = A s^2(1 - (1 - t)^2), \quad 1 - s = zt, \quad \Rightarrow \quad s = 1 - zt. \quad (18)$$

Из уравнений системы (18) следует уравнение вида:

$$(1 - t)^2(1 - (1 - zt)^2) = A(1 - zt)^2(1 - (1 - t)^2), \quad \Rightarrow$$

$$t(-2A + 2z) + t^2(A - 4z + 4Az - z^2) + t^3(2z - 2Az + 2z^2 - 2Az^2) + t^4(-z^2 + Az^2) = 0.$$

Очевидно, корень $t = 0$ не удовлетворяет условию задачи, поскольку в условии сказано, что треки являются кольцевыми. В итоге получаем уравнение третьей степени (1 балл):

$$(-2A + 2z) + t(A - 4z + 4Az - z^2) + t^2(2z - 2Az + 2z^2 - 2Az^2) + t^3(-z^2 + Az^2) = 0.$$

Для решения полученного полиномиального уравнения относительно переменной t заметим, что параметры A и z одинаковы по порядку величины ($\mathcal{O}(10^2)$). Предположим, что порядок малости параметра t есть $\mathcal{O}(z^{-1})$, тогда в последнем уравнении:

- слагаемое, пропорциональное t^0 , имеет порядок $\mathcal{O}(z^1)$,
- слагаемое, пропорциональное t^1 , имеет порядок $\mathcal{O}(z^1)$,
- слагаемое, пропорциональное t^2 , имеет порядок $\mathcal{O}(z^1)$,
- слагаемое, пропорциональное t^3 , имеет порядок $\mathcal{O}(z^0)$.

Пренебрегая самым малым слагаемым в последнем уравнении, а также самыми малыми слагаемыми в скобках, данное уравнение можно упростить к виду (1 балл):

$$(-2A + 2z) + t(4Az - z^2) + t^2(-2Az^2) = 0. \quad (19)$$

Решение данного редуцированного уравнения представляется в виде (1 балл):

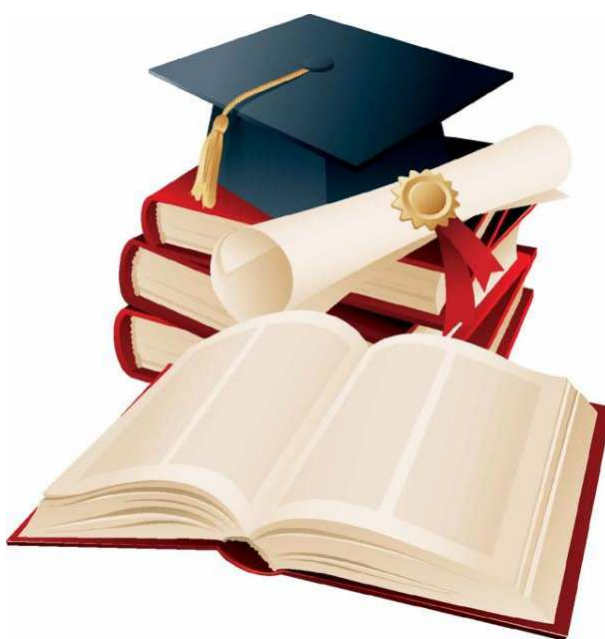
$$t_1 = \frac{4A - z - \sqrt{z(8A + z)}}{4Az}, \quad t_2 = \frac{4A - z + \sqrt{z(8A + z)}}{4Az}.$$

Нетрудно убедиться, что оба корня уравнения монотонно убывают с ростом z . Чтобы склонение δ_2 было минимальным, необходимо чтобы корень t был максимальным. Значит, следует рассмотреть оба корня при $z = 51$: $t_1 = 0.00690$, $t_2 = 0.0273$. Заметим, что полученные значения параметра t действительно имеют порядок малости $\mathcal{O}(z^{-1})$, значит наше предположение оказалось верным. Однако второй корень не удовлетворяет области допустимых значений для параметра s . Следовательно, окончательно имеем (2 балла):

$$z = 51, \quad \delta_2 = \arcsin(1 - t_1) = 83.3^\circ, \quad \delta_1 = \arcsin(1 - z \cdot t_1) = 40.4^\circ.$$

Точное решение уравнения (19) дает значения: $\delta_2 = 83.2^\circ$, $\delta_1 = 40.1^\circ$.

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

А.5. Формулы приближенного вычисления

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

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

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

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

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

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

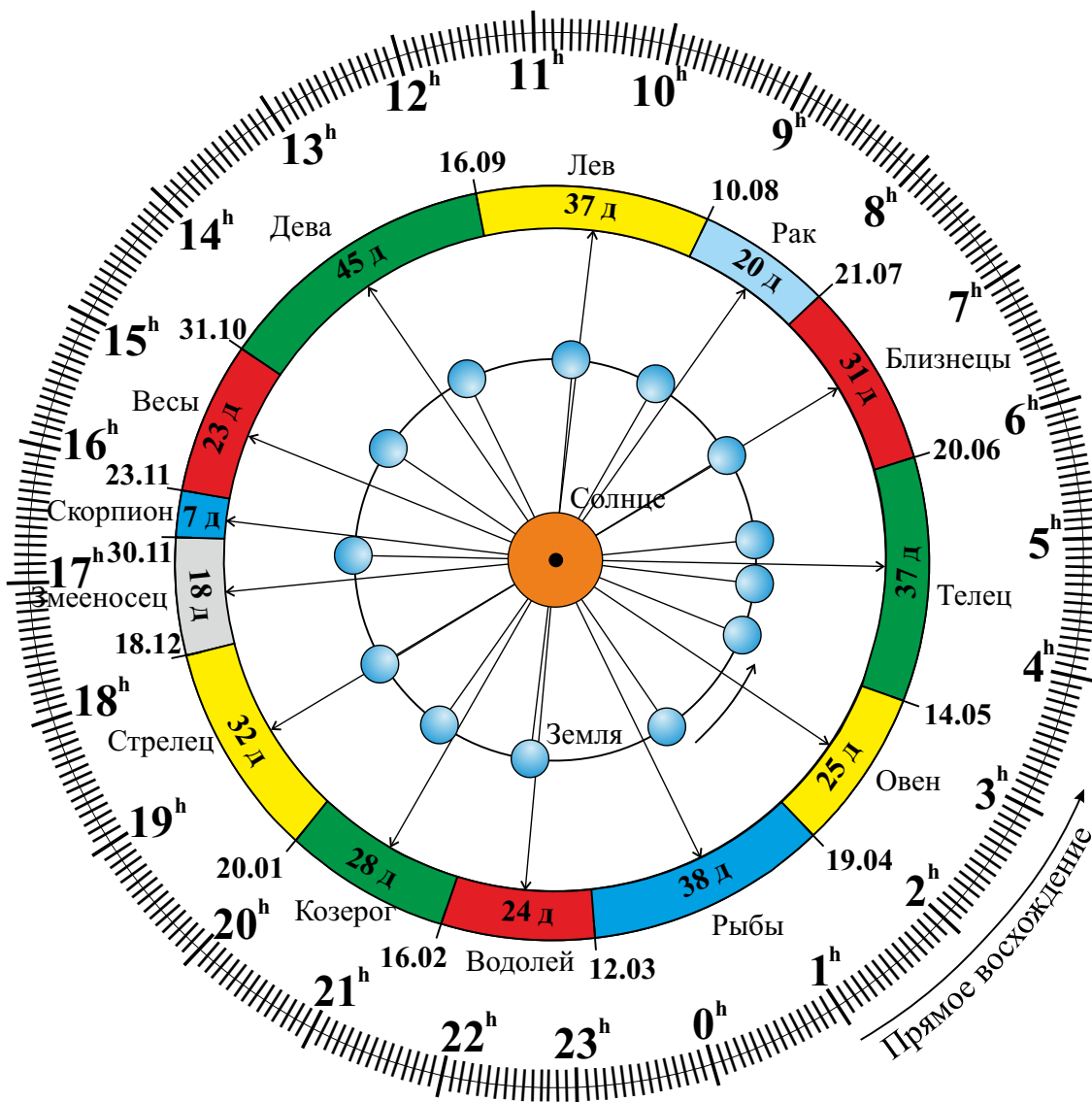


Рис. А.1. Диаграмма видимого годичного движения Солнца по эклиптике.

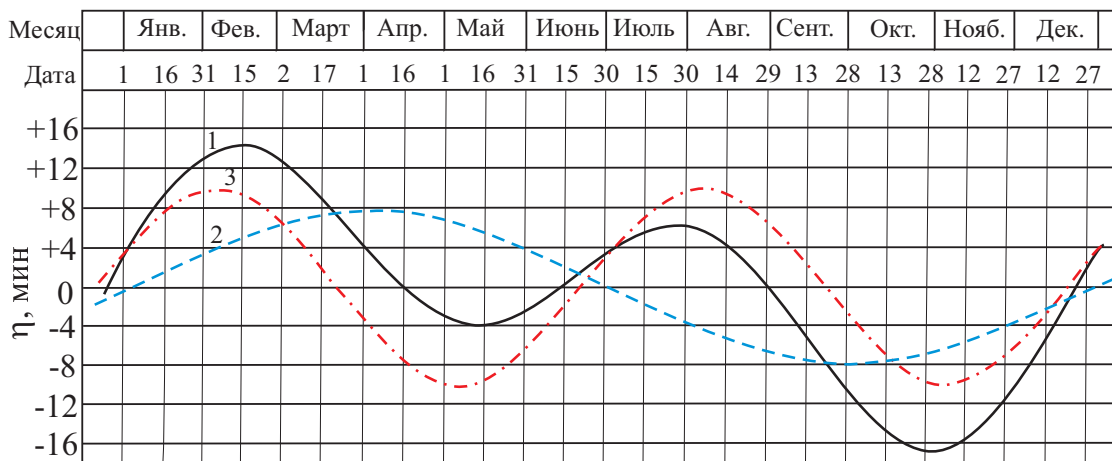


Рис. А.2. График уравнения времени: 1 – уравнение времени, 2 – уравнение центра, 3 – уравнение от наклона эклиптики.

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 Волосаса)	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

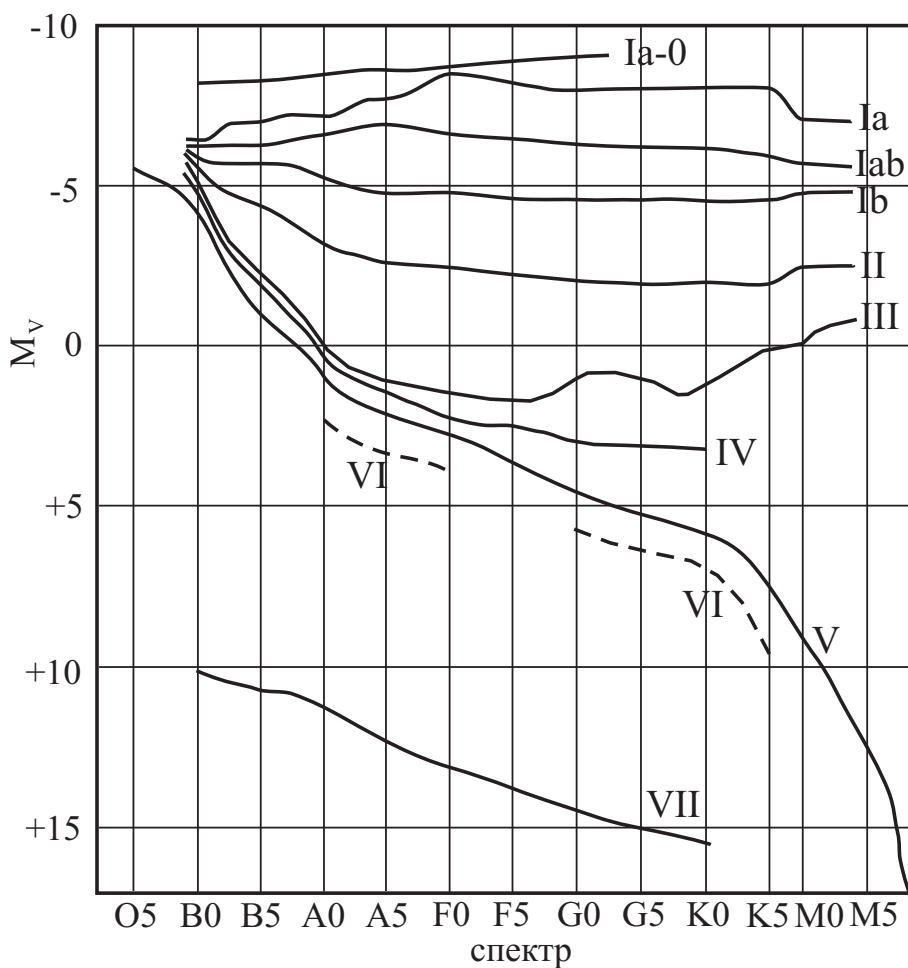


Рис. А.3. Диаграмма Герцшпрунга-Рассела.

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	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	(H)	He											
2	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne					
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar					
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni			
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd			
6	Cs	Ba	La*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt			
7	Fr	Ra	Ac**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt				
формлы летучих оксидов	R ₂ O	RO	RO ₂	RH ₄	RO ₂	R ₂ O ₅	RH ₃	RO ₃	R ₂ O ₇	RO ₄			
формлы летучих одноородных соединений													
ЛАНТАНОИДЫ*	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
АКТИНОИДЫ**	Th	Pa	U	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Символ элемента: Ar

Относительная атомная масса: 39.948

Периодический номер: 18

Название элемента: Аргон

Распределение электронов на энергетических уровнях: 2, 8, 8

Рис. А.4. Таблица Менделеева.