

11 класс

1. Условие. В результате нештатной ситуации космонавты приземлились 25 июня в неизвестном районе. Как **по Солнцу** определить географическую долготу и широту места, если у них сохранились механические часы со стрелками, идущие по московскому времени? Космонавты помнят, что уравнение времени в это время года близко к нулю. Решить задачу в общем виде, без привязки к конкретному времени на часах.

1. Решение.

Формула для определения долготы $T_{ист} = T_{Гринв} + \lambda + УВ$, где

$T_{ист}$ – местное истинное солнечное время

$T_{Гринв}$ – универсальное время по Гринвичу

λ – долгота в часовых единицах

УВ – значение уравнения времени

время по Гринвичу легко посчитать, зная московское время $T_{МСК}$

$$T_{Гринв} = T_{МСК} - N_{поясаМСК} - 1 = T_{МСК} - 3$$

$T_{ист}$ - местное истинное солнечное время, определяемое в месте нахождения наблюдателя по положению Солнца на небесной сфере. При $УВ = 0$ местное истинное солнечное время равно используемому в быту среднему солнечному времени. В момент верхней кульминации Солнца наступает истинный полдень $T_{ист} = 12$ часов.

Отсюда, $\lambda = 12 - T_{МСК} + 3$.

Для определения широты воспользуемся зависимостью между высотой h светила в верхней кульминации, его склонением δ и широтой местности φ
 $\varphi = 90 - h + \delta$. Используя циферблат часов в качестве транспортира (часы имеют 60 одинаковых делений, каждое равно 6 градусам), надо определить высоту Солнца. Склонение Солнца вблизи дня летнего солнцестояния $\delta = 23,5^\circ$.

Ответ: $\lambda = 12 - T_{МСК} + 3$, $\varphi = 90 - h + \delta$.

1. Система оценивания. Максимальное количество баллов за решение данной задачи – **8**. Использование формулы для определения долготы – 2

балла. Определение $T_{Гринв}$ – 1 балл, определение $T_{ист}$ – 1 балл. Итого, максимальное количество баллов при определении долготы – 4.

Использование зависимости между высотой h светила в верхней кульминации, его склонением δ и широтой местности φ – 2 балла. Предложение использовать циферблат часов для определения высоты Солнца – 1 балл. Определение склонения Солнца – 1 балл.

2. Условие.

У звезды зарегистрированы периодические падения блеска на 0.001 звездной величины. Явление, вероятно, вызывается прохождением перед диском звезды темного тела - экзопланеты, затмевающего часть излучения звезды. Определить размер экзопланеты по сравнению с размером звезды.

2. Решение.

Пусть поток энергии со всей поверхности звезды $I_{зв}$, при радиусе диска звезды R с единицы ее поверхности будет излучаться энергия $\frac{I_{зв}}{\pi \cdot R^2}$

Экзопланета радиуса r перекроет площадь поверхности родительской звезды $\pi \cdot r^2$ и поглотит, соответственно, энергию равную $I_{пл} = I_{зв} \frac{r^2}{R^2}$.

На эту величину уменьшится поток энергии от звезды и будет зарегистрировано падение блеска на 0.001 звездной величины.

При затмении планетой поток энергии будет

$$I_{затм} = I_{зв} - I_{зв} \frac{r^2}{R^2}$$

Из формулы Погсона следует:

$$I_{зв} / I_{затм} = 2.512^{0.001}$$

$$I_{зв} / I_{затм} = \frac{1}{1 - \frac{r^2}{R^2}} = 2.512^{0.001} = 1.00092$$

$$1 = 1.00092 - 1.00092 \cdot \frac{r^2}{R^2}$$

$$\frac{r^2}{R^2} = \frac{0.00092}{1.00092}$$

$$\frac{r}{R} = 0.0303$$

Ответ: отношение радиуса экзопланеты к радиусу звезды ~ 0.03 .

2. Система оценивания. Максимальное количество баллов за решение данной задачи – 8. Поток энергии со всей поверхности звезды – 2 балла. Поток энергии, поглощаемый экзопланетой – 2 балла. Применение формулы Погсона – 2 балла. Определение размера экзопланеты по сравнению с размером звезды – 2 балла.

3. Условие.

Могут ли марсиане наблюдать солнечные затмения? Как они выглядят? Возможно ли видеть Солнечную корону? Расстояние Фобоса от поверхности Марса считать равным 6000 км , Деймоса – 20000 км . Радиус Фобоса считать равным 11.2 км , радиус Деймоса – 6.2 км .

3. Решение.

Угловые диаметры объектов α вычисляются по формуле

$$\sin \alpha = \frac{2r}{D},$$

где r - линейный радиус, D - расстояние до объекта.

Радиус Солнца $R = 695500 \text{ км} \approx 7 \cdot 10^5 \text{ км}$, расстояние Солнца от Марса $D = 1.52 \text{ a.e.} = 1.52 \cdot 150 \cdot 10^6 \text{ км} \approx 225 \cdot 10^6 \text{ км}$.

Угловой диаметр Солнца, видимый с поверхности Марса

$$\sin \alpha = \frac{2R}{D} = \frac{2 \cdot 7 \cdot 10^5 \text{ км}}{225 \cdot 10^6 \text{ км}} \approx 6 \cdot 10^{-3}$$

Синус малых углов равен самому углу, отсюда

$$\alpha = 6 \cdot 10^{-3} \text{ рад} = 57 \cdot 6 \cdot 10^{-3} \text{ град} = 0.342 \text{ град} \approx 21 \text{ мин}$$

Угловой диаметр Фобоса, видимый с поверхности Марса

$$\sin \beta = \frac{2R}{D} = \frac{2 \cdot 11.2 \text{ км}}{6 \cdot 10^3 \text{ км}} \approx 3.7 \cdot 10^{-3}$$

$$\beta = 3.7 \cdot 10^{-3} \text{ рад} = 57 \cdot 3.7 \cdot 10^{-3} \text{ град} = 0.211 \text{ град} \approx 12.7 \text{ мин}$$

Угловой диаметр Деймоса, видимый с поверхности Марса

$$\sin \gamma = \frac{2R}{D} = \frac{2 \cdot 6.2 \text{ км}}{2 \cdot 10^4 \text{ км}} \approx 6.2 \cdot 10^{-4} \approx 0.6 \cdot 10^{-3}$$

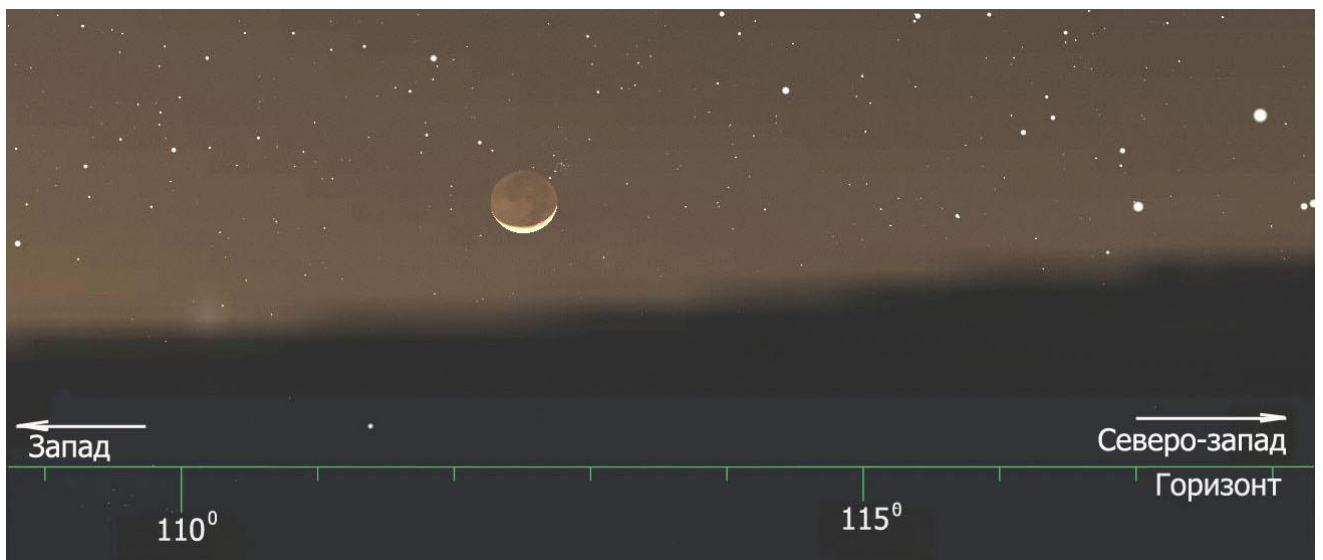
$$\gamma = 0.6 \cdot 10^{-3} \text{ рад} = 57 \cdot 0.6 \cdot 10^{-3} \text{ град} = 0.034 \text{ град} \approx 2.0 \text{ мин}$$

Угловой диаметр спутников Марса значительно меньше углового диаметра Солнца, поэтому Солнечная корона не видна. Для Фобоса будем наблюдать черный диск на фоне диска Солнца. Деймос виден черной точкой на пределе зрения человеческого глаза (~ 1 угл. мин). У марсиан зоркость может быть другой.

3. Система оценивания. Максимальное количество баллов за решение данной задачи – 8. Нахождение угловых диаметров Фобоса и Деймоса, видимых с поверхности Марса – по 2 балла. Нахождение углового диаметра Солнца, видимого с поверхности Марса – 2 балла. Вывод о характере солнечных затмений с поверхности Марса – 2 балла.

4. Условие.

На снимке представлено изображение месяца, невысоко расположенного над горизонтом.



В каких географических районах Земли можно наблюдать подобную картину? В какое время суток? года?

4. Решение.

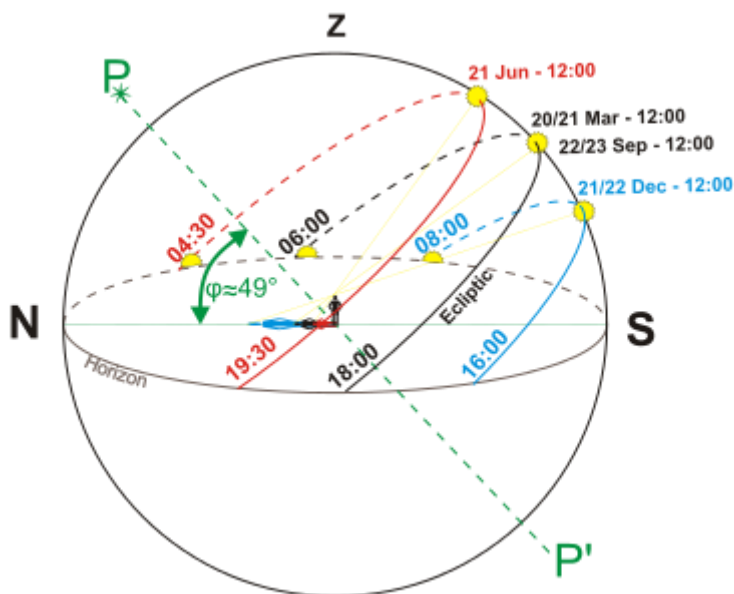


Рис. Суточная траектория Солнца в течение года относительно горизонта.

Летом Солнце восходит между востоком и севером, а заходит между западом и севером. Зимой точки восхода и захода отодвигаются к южной точке горизонта, так как день становится короче. Чем место дальше от экватора, тем дальше в летнее и зимнее время отодвигаются от востока и запада точки восхода и захода Солнца.

Если бы Луна, и Солнце, находились на линии экватора, т.е. вблизи дней равноденствий, то их заход осуществлялся бы на горизонте в точке запада 90° .

На снимке заход происходит севернее запада на 23° . Такое явление наблюдается летом около дня летнего солнцестояния, когда Солнце описывает большую летнюю дугу, обеспечивая продолжительный летний день.

Молодой месяц всегда выходит после новолуния слева от Солнца, постепенно перемещаясь к востоку, при этом первым заходит Солнце. Следовательно, снимок сделан вечером, после новолуния.

Из рисунка ясно, что Солнце, освещающее Луну, должно находиться под горизонтом на вертикальной линии. В этом случае линия экватора проходит перпендикулярно линии горизонта.

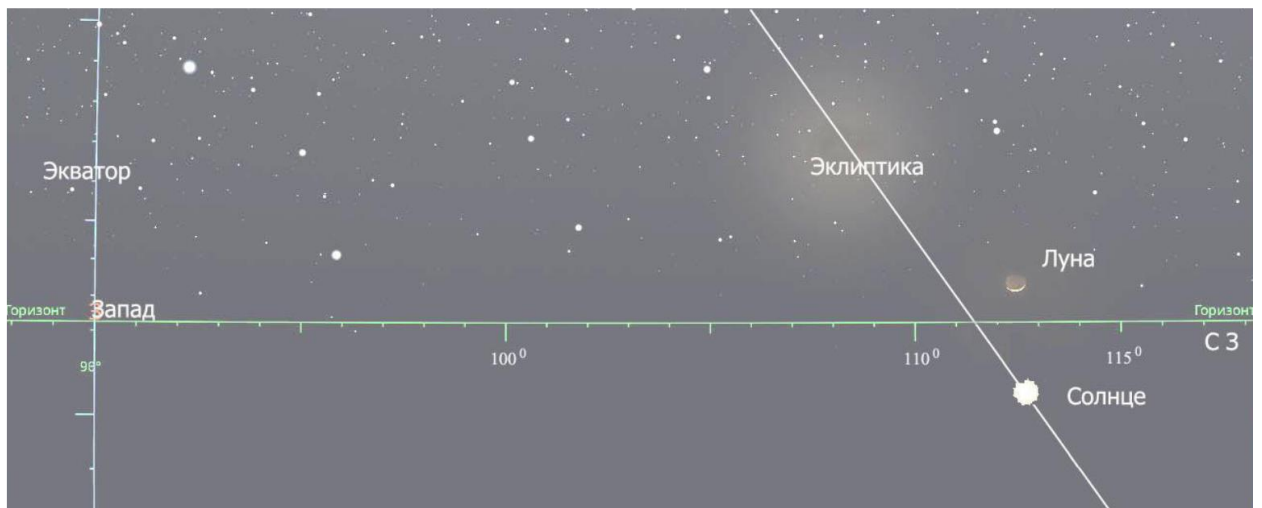


Рис. Схематическое расположение Солнца, Луны и основных линий небесной сферы.

4. Система оценивания. Максимальное количество баллов за решение данной задачи – 8. Обоснование, что наблюдаемое на картинке явление наблюдается летом около дня летнего солнцестояния – 4 балла. Обоснование, что снимок сделан вечером, после новолуния – 2 балла. Обоснование географического района Земли – 2 балла.

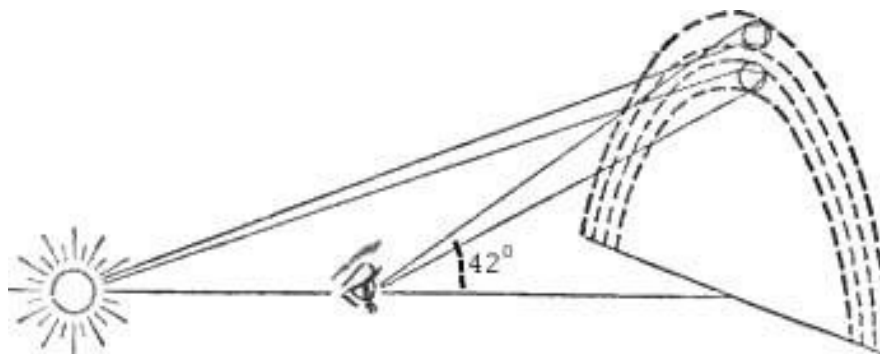
5. Условие.

Летом, вблизи дня летнего солнцестояния, в вечернее время наблюдалась радуга. В какой части горизонта она была видна?

5. Решение.

Радуга может наблюдаться, когда человек находится между Солнцем и облаком дождевых капель.

Радуга происходит в результате многократного внутреннего отражения солнечного луча в капельках воды. Особенность этого процесса в сферической капле такова, что большая часть света выходит из капли назад под углом около 41 градуса к направлению падающего света. Поэтому радугу можно увидеть только в пределах дугообразной полосы неба, где угол Солнце — капля — наблюдатель составляет 40 - 42 градуса.



В день летнего солнцестояния по вечерам Солнце находится в северо-западной части горизонта (см. решение задачи 4 11 класса).

Следовательно, противоположная точка, центр дуги радуги, придется на точку юго-востока горизонта.

5. Система оценивания. Максимальное количество баллов за решение данной задачи – 8. Указание, что радуга может наблюдаться, когда человек находится между Солнцем и облаком дождевых капель, оценивается в 2 балла. Указание, что большая часть света выходит из капли назад под углом около 41 градуса к направлению падающего света – еще 3 балла. Выводы о том, что центр дуги радуги придется на точку юго-востока горизонта – 3 балла.

6. Условие.

У звезды HD 10180 (созвездие Южная Гидра, видимая звездная величина 7.33, температура 5900 К, измеренный параллакс 0.025 угловых секунд) обнаружена планетная система состоящая из девяти экзопланет.

Для экзопланет определены следующие характеристики:

Планетная система HD 10180

Планета	Масса (M_{\oplus})	Большая полуось (а.е.)	Орбитальный период (дней)	Эксцентриситет
b	1,3	0,02222	1,17766	0,0005
c	13,0	0,0641	5,75973	0,07
i	1,9	0,0904	9,655	0,05
d	11,9	0,1284	16,354	0,011
e	25,0	0,270	49,75	0,001
j	5,1	0,330	67,55	0,07
f	23,9	0,4929	122,88	0,13
g	21,4	1,415	596	0,03
h	65,8	3,49	2300	0,18

Определить какие из экзопланет, с точки зрения землянина, находятся в области, пригодной для обитания - в поясе жизни. (Принять расположение пояса жизни аналогично Солнечной Системе. Расстояния Венеры и Марса от Солнца: 0.72 а.е. и 1.52 а.е.).

6. Решение.

Испускаемая звездой энергия L_* излучается в пространство по всем направлениям равномерно. На расстоянии d на единицу площади приходится величина $E = \frac{L_*}{4\pi d^2}$.

Примем, что пояс жизни в солнечной системе простирается от планеты Венера до планеты Марс при светимости Солнца L_{sun} , т. е. находится на расстояниях Венеры и Марса от Солнца: 0.72 а.е. и 1.52 а.е.

Определим светимость звезды HD 10180 в единицах Солнца L_* .

Абсолютная звездная величина звезды

$$M_* = m + 5 + 5 \lg \pi = 7.33 + 5 + 5 \lg 0.025 = 4.33 \text{ (зв вел)}$$

Найдем, во сколько раз светимость звезды отличается от светимости Солнца. Из соотношения Погсона следует, что

$$\lg \frac{L_*}{L_{sun}} = 0.4 (M_{sun} - M_*) = 0.4 \cdot (4.72 - 4.33) = 0.156$$

отсюда

$$\frac{L_*}{L_{sun}} = 1.4$$

Светимость звезды почти в полтора раз больше светимости Солнца.

Световой поток убывает обратно пропорционально квадрату расстояния.

Для Венеры на единицу площади от Солнца приходится энергия

$$E_{Венеры} = \frac{L_{sun}}{4\pi d_{Венеры}^2}$$

Для звезды HD 10180 равная по величине энергия $E_* = E_{Венеры}$

будет находиться на расстоянии d_1 , которое находим по формуле:

$$d_1^2 = \frac{L_*}{4\pi E_{Венеры}} = \frac{L_*}{L_{sun}} d_{Венеры}^2$$

$$d_1 = d_{Венеры} \sqrt{\frac{L_*}{L_{sun}}} = 0.72 \cdot \sqrt{1.4} = 0.85 \text{ а.е.}$$

Аналогично, энергия, равная по величине энергии, получаемой Марсом, будет на следующем расстоянии от звезды

$$d_2 = d_{\text{Марса}} \sqrt{\frac{L_{*}}{L_{\text{sun}}}} = 1.52 \cdot \sqrt{1.4} = 1.82 \text{ a.e.}$$

Итак, пояс жизни для звезды HD 10180 находится в пределах от 0.85 а.е. до 1.82 а.е.

Этому условию из таблицы удовлетворяет только экзопланета **g**, с орбитальным периодом 596 дней.

Остальные находятся либо значительно ближе, либо, как экзопланета **h** - слишком далеко.

Планетная система HD 10180

Планета	Масса (M_{\oplus})	Большая полуось (а.е.)	Орбитальный период (дней)	Эксцентриситет
b	1,3	0,02222	1,17766	0,0005
c	13,0	0,0641	5,75973	0,07
i	1,9	0,0904	9,655	0,05
d	11,9	0,1284	16,354	0,011
e	25,0	0,270	49,75	0,001
j	5,1	0,330	67,55	0,07
f	23,9	0,4929	122,88	0,13
g	21,4	1,415	596	0,03
h	65,8	3,49	2300	0,18

6. Система оценивания. Максимальное количество баллов за решение данной задачи – 8. Определение нахождения пояса жизни – 2 балла. Нахождение испускаемой звездой энергии – 1 балл. Нахождение потока энергии на расстоянии d от звезды – 1 балл. Использование соотношения Погсона – 1 балл. Расчет пояса жизни для звезды HD 10180 – 2 балла. Выбор экзопланеты, попадающей в пояс жизни – 1 балл.