

# Всероссийская олимпиада школьников по астрономии, 2011 год

## Региональный этап

### Задания и решения

#### 9 класс

**1. Условие.** Что такое звездные сутки, звездный месяц, звездный год? Сколько звездных суток и звездных месяцев содержится в одном звездном годе?

**1. Решение.** Звездные сутки  $T_1$  – период осевого вращения Земли относительно далеких звезд или, то же самое, промежуток времени между двумя последовательными верхними кульминациями одной и той же звезды в некотором пункте Земли. Вследствие орбитального движения Земли данный период несколько меньше солнечных суток – один год содержит на одни звездные сутки больше, чем солнечные. Продолжительность звездных суток составляет 23 часа 56 минут 04 секунды или 0.99727 обычных (солнечных) суток.

Звездный месяц  $T_2$  – период обращения Луны вокруг Земли относительно далеких звезд или промежуток между двумя последовательными соединениями Луны с некоторой звездой. Аналогично, вследствие орбитального движения Земли звездный месяц меньше периода изменений лунных фаз и составляет 27.3217 солнечных суток.

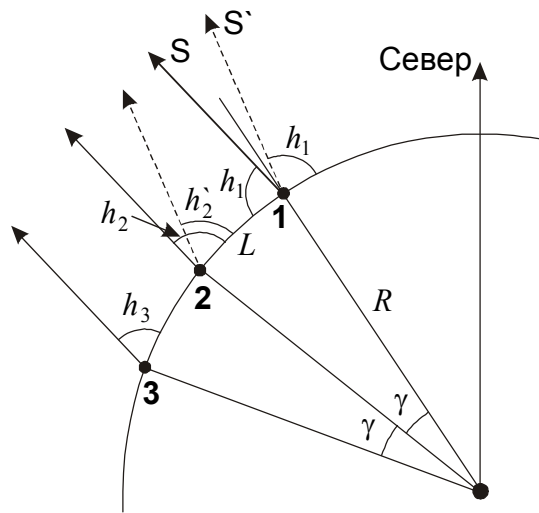
Звездный год  $T_3$  – период обращения Земли вокруг Солнца относительно далеких звезд или промежуток между двумя последовательными соединениями Солнца с некоторой звездой (без собственного движения) вблизи эклиптики. Этот промежуток несколько отличается от обычного тропического года (периода между последовательными моментами весеннего равноденствия) вследствие прецессии земной оси с периодом около 26000 лет. Точка весеннего равноденствия смещается относительно звезд в ту же сторону, что и Солнце, и звездный год на  $(1/26000)$  часть длиннее тропического года. Его продолжительность составляет 365.256 дня.

Исходя из этого, получаем число звездных суток ( $N_1$ ) и звездных месяцев ( $N_2$ ) в одном звездном годе:

$$N_1 = \frac{T_3}{T_1} = 366.26; \quad N_2 = \frac{T_3}{T_2} = 13.3687.$$

**2. Условие.** Наблюдатель в северном полушарии наблюдал звезду в верхней кульминации на высоте  $80^\circ$ . Сместившись на юг на 2000 км, он увидел ту же звезду в верхней кульминации на высоте  $82^\circ$ . На какой высоте увидит наблюдатель эту же звезду в верхней кульминации после того, как сместится на юг еще на 2000 км?

**2. Решение.** По условию задачи, наблюдатель движется строго на юг по меридиану. Изначально он находится в северном полушарии, на расстоянии не менее  $\pi R/2$ , то есть 10000 км по меридиану от Южного полюса (здесь  $R$  – радиус Земли). При перемещении на расстояние  $L$  (2000 км) и  $2L$  (4000 км) на юг наблюдатель не достигнет южного полюса. Очевидно, что он не сможет пересечь и северный полюс, и останется на том же меридиане, что и в начальном положении (цифра 1 на рисунке). Поэтому верхняя кульминация звезды будет происходить одновременно во всех точках на пути наблюдателя.



Определим величину углового перемещения наблюдателя между положениями 1 и 2:

$$\gamma = L / R$$

Здесь  $R$  – радиус Земли. В градусной мере угол  $\gamma$  равен  $18^\circ$ . Если бы верхняя кульминация звезды в пункте 1 происходила к северу от зенита (положение  $S'$ ), то, как видно на рисунке, в пункте 2 она бы произошла также к северу от зенита на угол  $\gamma$  ниже:

$$h_2' = h_1 - \gamma = 62^\circ.$$

Это противоречит условию задачи. Следовательно, звезда находится в положении  $S$  и в пункте 1 кульминирует южнее зенита. Тогда высота ее верхней кульминации в пункте 2 составит

$$h_2 = 180^\circ - h_1 - \gamma = 82^\circ,$$

что соответствует условию задачи. В отличие от пункта 1, в пункте 2 верхняя кульминация произойдет к северу от зенита. То же относится и к пункту 3. Высота звезды в верхней кульминации там будет равна

$$h_3 = h_2 - \gamma = 64^\circ.$$

**3. Условие.** 8 декабря в 15ч по Всемирному времени на Земле наблюдалось полное солнечное затмение, а 23 декабря в 09ч по Всемирному времени – частное лунное затмение. В какой день декабря того же года (по Всемирному времени) Луна была в фазе первой четверти?

**3. Решение.** Солнечное затмение происходит в новолуние, в момент соединения Солнца с Луной на небе Земли. Лунное затмение, напротив, может произойти в полнолуние, когда Луна располагается с противоположной стороны от Солнца. Фаза первой четверти наступает между новолунием и полнолунием, когда Луна располагается в  $90^\circ$  от Солнца. Если бы орбита Луны была круговой, момент первой четверти наступил бы в середине временного отрезка между новолунием и полнолунием, то есть 16 декабря в 00ч по Всемирному времени.

В реальности орбита Луны эллиптическая, хоть и мало отличная от круговой. В соответствии со II законом Кеплера вблизи перигея (ближайшей точке орбиты к Земле) линейная и угловая скорость Луны немного больше, а вблизи апогея – немного меньше. По условию задачи, 8 декабря произошло полное солнечное затмение. В декабре угловой

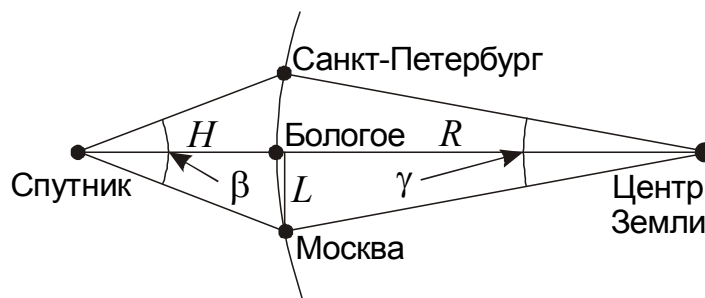
диаметр Солнца близок к максимальному (Земля оказывается ближе всего к Солнцу вблизи Нового Года), и полное затмение может произойти, только если Луна находится рядом с точкой перигея орбиты. Следовательно, угловая скорость движения Луны после 8 декабря выше, чем перед 23 декабря, в противоположной части орбиты, вблизи ее апогея. Луна пройдет отрезок между новолунием и первой четвертью немного быстрее, чем последующий – между первой четвертью и полнолунием. Фаза первой четверти наступит несколько раньше Всемирной полночи 16 декабря. Итак, дата фазы первой четверти – 15 декабря.

**4. Условие.** В один момент времени искусственный спутник Земли с круговой орбитой оказался над городом Бологое, расположенном посередине между Москвой и Санкт-Петербургом. Угловое расстояние между двумя столицами при наблюдении со спутника было равно  $10^\circ$ . Определите орбитальный период спутника. Расстояние между Москвой и Санкт-Петербургом равно 630 км.

**4. Решение.** Для решения задачи нам нужно определить высоту спутника над поверхностью Земли  $H$ . Это можно легко сделать, считая угол  $\beta$ , под которым со спутника видно расстояние  $S$  (Москва – Санкт-Петербург), малым:

$$H = S / \beta = 3600 \text{ км.}$$

Здесь угол  $\beta$  берется в радианной мере.



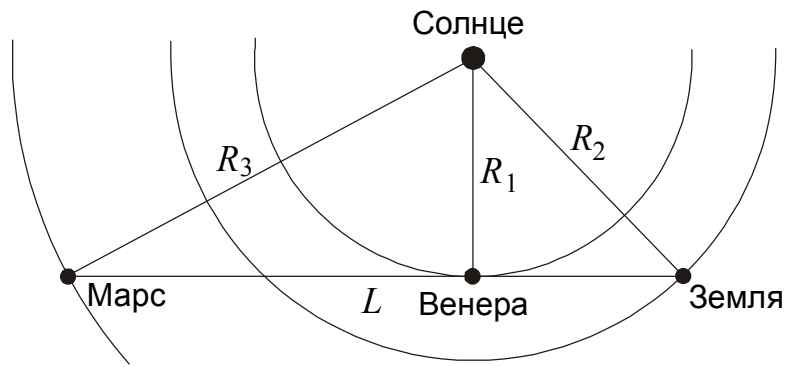
Орбитальный период спутника составит:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(R+H)^3}{GM}}$$

Здесь  $M$  – масса Земли. Орбитальный период получается равным 10000 секунд или около 2.75 часа.

**5. Условие.** В один день Венера оказалась в наибольшей восточной элонгации при наблюдении с Земли и в наибольшей западной элонгации – при наблюдении с Марса. Найдите видимый угловой диаметр Марса при наблюдении с Земли в этот день. Орбиты всех планет считать круговыми.

**5. Решение.** В случае круговых орбит наибольшая элонгация (угловое расстояние от Солнца) внутренней планеты наступает, когда направление на нее из точки наблюдения является касательной линией к ее орбиты. Наибольшая элонгация Венеры по условию задачи восточная для Земли и западная для Марса, следовательно, Венера находится на линии, соединяющей Землю и Марс.



Очевидно, что при наблюдении с Земли в этот день Марс оказался в соединении с Венерой. Расстояние от Земли до Марса равно

$$L = \sqrt{R_3^2 - R_1^2} + \sqrt{R_2^2 - R_1^2} = 2.03 \text{ a.e.}$$

Угловой диаметр Марса в этот день составит

$$d'' = 206265'' \cdot D / L = 4.6''.$$

Здесь  $D$  – диаметр Марса.

**6. Условие.** Планетарная туманность **A** имеет интегральный блеск  $10^m$  и угловой радиус  $2.2'$ . Планетарная туманность **B** имеет интегральный блеск  $9^m$  и угловой радиус  $4.5'$ . Для какой из туманностей при фотографировании потребуется меньшая экспозиция и почему? Считать, что обе туманности выглядят на фотографии как протяженные объекты круглой формы с равномерным распределением яркости.

**6. Решение.** Очевидно, что для протяженных объектов необходимая экспозиция будет тем больше, чем меньше поверхностная яркость объекта, то есть его яркость, деленная на видимую площадь.

Планетарная туманность **B** по общей яркости превосходит планетарную туманность **A** в 2.512 раза (так как ее блеск на  $1^m$  меньше). Но размеры планетарной туманности **B** больше. Определим соотношение видимых площадей туманностей:

$$\frac{S_B}{S_A} = \frac{r_B^2}{r_A^2} = 4.2.$$

Здесь  $r_A$  и  $r_B$  – видимые радиусы туманностей. В итоге, несмотря на большую общую яркость, планетарная туманность **B** уступает туманности **A** по поверхностной яркости в 1.7 раза. Поэтому для фотографирования туманности **B** потребуется большая экспозиция.