



XXI Санкт-Петербургская
астрономическая олимпиада
практический тур, решения

2014
16
февраля

9 класс

Вам дано изображение, представляющее собой наложение снимков Солнца, сделанных в течение года в одно и то же время суток в некоторой местности. Определите широту места и примерное время съемки. Объясните, почему образованная изображениями Солнца фигура имеет такую форму.



Решение:

Фигура, образуемая изображениями Солнца, снятыми в течение года в одно и то же время суток, называется аналеммой. Ее форма определяется сочетанием наклона оси вращения планеты к плоскости ее орбиты и эксцентриситета орбиты. Если бы Земля обращалась вокруг Солнца по круговой орбите и ось вращения Земли была бы перпендикулярна плоскости ее орбиты, в любой день года суточная параллель Солнца совпадала бы с небесным экватором, а

в течение года Солнце также двигалось бы по экватору (который бы совпадал с эклиптической), причем равномерно. Таким образом в определенное время суток Солнце всегда находилось бы в одной и той же точке неба и аналемма «стянулась» бы в эту точку. Если бы орбита Земли была бы эллиптической, но ось вращения Земли была бы ей перпендикулярна, аналемма представляла бы собой эллипс. Если бы наклон оси Земли к плоскости ее орбиты был бы таким же, как сейчас, но орбита Земли была бы круговой, аналемма выглядела бы как симметричная восьмерка, угловая длина которой равна удвоенному углу наклона эклиптики к экватору ($2\varepsilon = 47^\circ$). В таком случае точки в вершинах восьмерки определяли бы положение Солнца в дни солнцестояний, а точка пересечения ветвей восьмерки — в дни равноденствий.

Так как орбита Земли имеет ненулевой эксцентриситет и наклонена к экватору Земли под углом $\varepsilon = 23^\circ.5$, то земная аналемма имеет форму, которая видна на изображении. Точки, в которых Солнце бывает в дни равноденствий, располагаются не в точке пересечения восьмерки, а посередине между положениями в солнцестояниях.

Определим время, в которое была сделана фотография. Если бы аналемма снималась в моменты солнечного полудня, ее ось совпадала бы с южной частью меридиана. Так как аналемма наклонена влево от меридиана, то если она снималась в северном полушарии, съемки происходили за некоторое время t до полудня, а если в южном, то через такое же время t после полудня. Для оценки этого времени можно считать, что ось аналеммы поворачивается от положения, изображенного на рисунке, до вертикали равномерно и, следовательно, мы можем представить зависимость изменения угла отклонения оси аналеммы от вертикали τ от времени t в часах следующим образом:

$$\tau = \frac{180^\circ (12 - t)}{12}.$$

Измерения показывают, что $\tau \approx 42^\circ$, следовательно $t = 2.8$ часа. Таким образом, снимки делались в 9 «с небольшим» часов по местному солнечному времени, если дело происходило в северном полушарии, и чуть ранее 15 часов, если в южном. Античные руины, на фоне которых происходили съемки, позволяют предполагать, что это все же северное полушарие и, следовательно, время съемки — около 9 часов по местному солнечному времени.

Поскольку наблюдения Солнца проводились, как мы уже выяснили, не в полдень, сделать оценку широты места наблюдения φ без сложных вычислений можно только достаточно грубо. Рассмотрим один из возможных способов.

Нижняя точка аналеммы соответствует зимнему солнцестоянию. В это время Солнце сравнительно невысоко поднимается над горизонтом и, что существенно, угол между суточной параллелью Солнца и горизонтом также минимален. Как следствие, высоты Солнца над горизонтом в 9 часов и в 12 часов различаются не слишком сильно. Используя в качестве масштаба полную длину аналеммы (47°) и считая, что положение горизонта примерно совпадает с нижней кромкой цоколя руин на снимке, получаем, что высота Солнца над горизонтом в 9 часов в день зимнего солнцестояния примерно равна ε . Предполагая, что она близка к полуденной высоте Солнца в тот же день, и учитывая, что полуденная высота составляет $90^\circ - \varphi - \varepsilon$, получаем, что широта места наблюдения $\varphi \approx 90^\circ - 2\varepsilon = 43^\circ$ или несколько менее (поскольку реальная полуденная высота больше, чем предполагаемая). В итоге в качестве оценки широты можно принять 40° (настоящее значение — 38°). Заметим, что все сделанные выше выводы годятся и для южного полушария, но широта получится, соответственно, не северной, а южной. Однако на таких широтах в южном полушарии располагается только южная часть Южной Америки, где обнаружение античных на вид руин маловероятно.

Отметим, что участники, знающие, как изменяется в течение года т.н. «уравнение времени» — разность между средним и истинным солнечным временем, смогут сделать вывод о полушарии, в котором сделан снимок, без привлечения не имеющих отношения к астрономии сведений о виде руин. Дело в том, что отклонения солнечного времени от среднего обусловлены, в частности, эллиптичностью орбиты Земли вокруг Солнца (и тем, что в окрестности перигелия своей орбиты Земля движется по ней быстрее, чем в окрестности афелия). Поскольку дата прохождения перигелия (3 января) не совпадает ни с датами солнцестояний, ни с датами рав-

ноденствий, аналема получается несимметричной, и в южном полушарии ее бóльшая петля располагается сверху.

Ну и, наконец, приведем источник фотографии: <http://www.perseus.gr/Astro-Solar-Analemma.htm>. На этом же сайте есть и другие аналеммы, снятые в разное время суток. Снимок сделан в Греции, фотограф — Anthony Ayiomamitis.