



XXIX Санкт-Петербургская  
астрономическая олимпиада  
практический тур, решения

2022  
13  
марта

9 класс

Вам дан коллаж фотографий затмения, произошедшего 4 декабря. Определите высоту Солнца над горизонтом в момент максимальной фазы затмения, широту места наблюдения, расстояние до людей на крыше здания от места съемки. Определите, куда движется Солнце относительно наблюдателя (влево или вправо) и куда движется Луна относительно Солнца. Найдите время, через которое делались кадры для коллажа. Можно считать, что нижняя граница изображения параллельна математическому горизонту.



**Решение:**

Вычислим склонение Солнца  $\delta_{\odot}$  4 декабря. Это можно сделать, например, так. 23 декабря его склонение  $-23^{\circ}.4$ , а фото сделано за 19 дней до зимнего солнцестояния. Тогда, считая, что склонение Солнца меняется по синусоиде, можно воспользоваться формулой:

$$\begin{aligned}\delta_{\odot} &= -23.4 \cos\left(\frac{19}{365} \cdot 2\pi\right) \approx -23.4 \left(1 - \frac{1}{2} \left(\frac{38\pi}{365}\right)^2\right) \approx -23.4 \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi^2}{10^2}\right) \approx \\ &\approx -23.5 \left(1 - \frac{1}{20}\right) = -23.4 + 1.2 = -22^{\circ}.2 \approx -22^{\circ}.\end{aligned}$$

При таком склонении Солнце движется по небу с угловой скоростью

$$\omega_{\odot} = \frac{360^{\circ}}{24^h} \cos(-22^{\circ}) \approx 15 \left( 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{22^{\circ}}{57^{\circ}} \right)^2 \right) \approx 15 \left( 1 - \frac{0.15}{2} \right) = 15 \cdot 0.93 = 14^{\circ}/\text{час}.$$

Угловой диаметр Солнца составляет  $0.5^{\circ}$ , измеряя линейкой получаем, что за время фотографирования его центр прошел  $22^{\circ}$ . Всего на коллаже 33 солнышка. Значит фотографии делались каждые

$$\frac{22^{\circ}}{14^{\circ} \cdot 32} \cdot 60 \text{ минут} \approx 2.9 \text{ минуты}.$$

Обратим внимание на тот факт, что дуга малого круга (по которой движется Солнце в течение суток) параллельна нижней границе изображения, которая параллельна горизонту. Такое может быть около верхней кульминации (но тогда было бы заметно искривление траектории Солнца) или если наблюдения производятся с Северного или Южного полюса Земли. В данном случае очевидно, что это Южный полюс (в декабре на Северном полюсе полярная ночь).

Так как наблюдения проводятся с Южного полюса, то направление движения Солнца на фотографии — справа налево. Луна движется навстречу Солнцу, и она движется слева направо (если быть точнее, то при этом еще и снизу вверх под небольшим углом траектории Солнца — это определяется по фазам затмения).

Отсюда же следует высота Солнца над горизонтом: она просто равна модулю склонения, то есть это  $22^{\circ}$ .

Для оценки расстояния до людей на фото необходимо оценить рост какого-либо человека или любую другую линейную величину. Например, можно заметить, что общий размах рук пятерых человек (от правой руки самого левого человека до левой руки самого правого) в три раза больше, чем видимый угловой размер Солнца. Взрослому человеку достаточно 1 метра, чтобы комфортно стоять с поднятыми руками, так что общая длина здесь около 5 метров.

Если 5 метров выглядят как  $1.5^{\circ}$ , то фотоаппарат должен находиться на расстоянии  $L$ :

$$\frac{5 \text{ м}}{L} = \frac{1.5^{\circ}}{57^{\circ}} \quad \Rightarrow \quad L = \frac{5 \times 57}{1.5} = 190 \text{ м}$$

Можно заметить, что на фото есть два радиотелескопа. Слева — South Pole Telescope (направлен вправо, диаметр 10 метров), справа — ВИСЕР (направлен вверх). Они расположены всего в 1.2 км от Южного полюса.

*В.В.Григорьев*