

Зеркало на Луне

На Луне наблюдаются т.н. кратковременные лунные явления (КЛЯ): вспышки, потемнения, изменения цвета и т.п.. Предположим, что одним из объяснений для некоторых из КЛЯ может быть наличие на Луне участка зеркальной поверхности (например, остекленевшего реголита или забытого американскими астронавтами куска блестящей пленки). КЛЯ возникает, когда отраженный луч Солнца попадает в наблюдателя.

1. При каком размере плоского зеркала, находящегося на поверхности Луны, направленный на наблюдателя солнечный зайчик можно заметить а) в крупный телескоп, б) невооруженным глазом?

Если размер зеркала существенно меньше размера Луны, наблюдатель заметит отражение небольшого кусочка поверхности Солнца. Поверхностная яркость изображения совпадает с яркостью Солнца. Поэтому поток излучения от зеркала пропорционален площади зеркала. Его легко можно оценить, учтя равенство видимых угловых размеров Луны и Солнца. Получаем:

$$m_m \approx m_\odot + 5 \lg \frac{D}{d},$$

где $m_\odot = -26.9$ — видимая звездная величина Солнца, $D \approx 3500$ км — диаметр Луны, d — “диаметр” зеркала. Т.е. для зеркала размером 35 м $m_m \sim -2$, для 3.5 км $m_m \sim -12$.

Однако, будет ли такой объект замечен на фоне поверхности луны? (Явление, естественно, возможно только на освещенной части Луны.) Для сопоставления учтем, что из-за атмосферной турбулентности на Луне в телескоп трудно различить детали размером менее 1 км (эту оценку можно получить, приняв угловое разрешение равным $0.5 - 1''$). Очевидно, если зеркало превышает этот размер, оно будет заметно на поверхности Луны: яркость поверхности зеркала равна яркости Солнца, т.е. примерно в $5 \cdot 10^5$ раз ярче окружающей поверхности. Оценка яркости поверхности Луны получается, если принять видимую звездную величину полной Луны $m_c = -12.7$.

Сравним поток излучения F_m от “пикселя” на поверхности Луны, содержащего зеркало размером $d < d_{\text{pix}} = 1$ км с потоком F_0 от пикселя, не содержащего зеркала. Для простоты пусть лунное альbedo всюду одинаково. Тогда

$$\delta = \frac{F_m}{F_0} = 1 + 5 \cdot 10^5 \frac{d^2}{d_{\text{pix}}^2}.$$

Пиксель с зеркалом становится заметен примерно когда $\delta \sim 2$, т.е.

$$d = \frac{d_{\text{pix}}}{\sqrt{5 \cdot 10^5}} \approx 1.4 \cdot 10^{-3} d_{\text{pix}}.$$

Таким образом, для телескопа получаем $d_{\text{телескоп}} \approx 1$ м. Для глаза размер “пикселя” это 1 угловая минута или $1/30$ диаметра Луны и минимальный размер зеркала $d_{\text{глаз}} \approx 200$ м. (Заметим, что проведенная оценка является грубой и поэтому результаты округлены до одной значащей цифры.) Для большей надежности можно принять $\delta \sim 10$, при этом размеры зеркала увеличатся в 3 раза.

Зеркало не обязательно является плоским. Как изменится предыдущий результат, если радиус его кривизны равен радиусу Луны (зеркало выпуклое)?

Если зеркало выпуклое, в наблюдателя с противоположных краев зеркала попадают лучи, идущие под углом

$$\alpha = \frac{4d}{D}$$

друг к другу. Яркость зеркала будет совпадать с яркостью Солнца, если этот угол меньше видимого углового размера Солнца, $\alpha < 0,5^\circ$ или $d < 7.6\text{км}$. Т.е. при $d < 7.6\text{км}$ результат не изменится, при бóльших размерах зеркала приведенные выше оценки потока от зеркала применять нельзя.

2. Какова (приблизительно) максимальная длительность такого явления для наблюдателя, находящегося на поверхности Земли?

Если бы Солнце было неподвижно на земном небе, то максимальная длительность равнялась бы времени, в течении которого Луна на небе проходит относительно Солнца путь равный видимому угловому диаметру Солнца.

$$t_1 = \frac{0.5^\circ T}{360^\circ},$$

$T = 29.53^d$ — синодический период Луны. Получаем $t_1 \approx 1^h$.

Скорость вращения Земли вокруг собственной оси вносит коррективы в эту оценку, поскольку размер солнечного зайчика на Земле примерно равен диаметру Луны, около 3500 км, и время за которое точка на земном экваторе повернется на это расстояние примерно равно $t_2 = 2^h$. Поскольку Луна вращается в ту же сторону, что и Земля, максимальная длительность наблюдения увеличивается:

$$\frac{1}{t} = \frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2}, \quad t = 2^h.$$

3. Из какой области на Луне может наблюдаться солнечный зайчик, если зеркало расположено горизонтально?

Это полоса вдоль экватора. Ширина определяется наклоном лунной орбиты к эклиптике (5°), наклоном лунного экватора к эклиптике (1.5°), угловым размером Земли (1°), видимой с Луны. Суммарная ширина полосы 7.5° .

Литература

1. Физика и астрономия Луны, под ред. З. Копала, М.: “Мир”, 1973.
2. Луна и ее наблюдение, В.В. Шевченко, М.: “Наука”, 1983.