

# ИЗМЕРЕНИЕ ГРАДИЕНТА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ГЛАЗА ВО ВРЕМЯ ЧАСТНОГО СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ

*О. С. Угольников*

*Московский Государственный Университет*

## 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Работа посвящена исследованию возможностей человеческого глаза видеть точечные источники света на ярком однородном фоне. Выявление связи минимальной интенсивности видимого источника с яркостью фона интересно с одной стороны как исследование физиологических свойств глаза, а с другой - как возможность построения программ различных визуальных астрономических наблюдений в сумеречных условиях.

Экспериментальное исследование этой связи было проведено в работе [1]. В ее основе лежали визуальные наблюдения появления звезд на вечернем небе вблизи зенита, проводимые различными наблюдателями, и измерения яркости сумеречного неба. Показано, что человеческий глаз может видеть звезду на фоне неба с яркостью  $J$ , если поток от нее превышает минимальное значение  $I$ , связанное с  $J$  соотношением

$$\lg I = \alpha \lg J + const \quad (1).$$

В [1] приводится значение  $\alpha = 0.6$ , причем отмечено, что точность определения этого коэффициента невелика по целому ряду причин. Одна из самых главных причин состоит в слишком позднем обнаружении наблюдателем ярких звезд из-за недостатка ориентиров на небе.

Учет более качественных измерений яркости фона сумеречного неба, проведенных в 1994 году на Кучинской Астрофизической обсерватории приводит к значению  $\alpha = 0.7$ , но и здесь точность будет невелика, к тому же фотометрические наблюдения сумеречного неба проводились в достаточно узком диапазоне погружений Солнца под горизонт, меньшем диапазона визуальных наблюдений.

Еще одна проблема, возникающая при определении  $\alpha$  указанным методом - несоответствие спектральной кривой приемника, используемого для фотометрирования сумеречного неба, и спектральной кривой видности человеческого глаза.

В этой работе мы предлагаем метод определения градиента чувствительности человеческого глаза, не требующий отдельных фотометрических наблюдений сумеречного неба, и тем самым не имеющий указанных недостатков. Его суть состоит в проведении визуальных наблюдений появления звезд на вечернем небе во время частного солнечного затмения, происходящего под горизонтом, и сравнении полученных результатов с обычной, внезатменной функцией.

Зависимость предельной звездной величины  $m$ , видимой глазом в околоризитной области неба, от глубины погружения Солнца под математический горизонт  $h$ , хорошо описывается линейной функцией

$$m = -2.5 (\alpha \lg J + const) = a + bh \quad (2).$$

Значения коэффициентов прямой, усредненные по большому количеству наблюдений, выполненных разными наблюдателями, равны  $a = -1.40$ ,  $b = 0.719$  [1]. При этом коэффициент  $a$  сильно зависит от погодных условий и наблюдателя, в то же время вариации

коэффициента  $b$  значительно меньше и не связаны с погодой или наблюдателем. Это легко объяснимо: влияние легкой облачности в гражданские сумерки сводится к поглощению, смещающему зависимость  $m(h)$  на постоянную величину. Аналогичны вариации этой функции для различных наблюдателей.

Если во время вечерних сумерек происходит солнечное затмение, то яркость неба ослабляется пропорционально изменению яркости Солнца. Введем величину  $E(f)$ , характеризующую ослабление солнечного света:

$$E(f) = -2.5 \lg (S(f)/S) \quad (3),$$

где  $S(f)$  и  $S$  - потоки света от Солнца в затмении с фазой  $f$  и вне затмения. Очевидно, что  $J(f)/J=S(f)/S$ , а предельная звездная величина будет равна

$$m = -2.5 (\alpha \lg J(f) + const) = \alpha E(f) + a + bh \quad (4).$$

Эта формула позволяет определить  $\alpha$ , сопоставляя данные визуальных наблюдений во время затмения и вне его. Таким образом эффекты, связанные с поздним обнаружением первых звезд, компенсируют друг друга. Также отпадает необходимость отдельной фотометрии сумеречного неба.

## 2. НАБЛЮДЕНИЯ

Визуальные наблюдения появления звезд на вечернем небе были проведены в г. Москве (ГАИШ) во время частного солнечного затмения 12 октября 1996 года. Наибольшая фаза затмения, равная 0.68, наступила сразу после захода Солнца, таким образом создались очень благоприятные условия для проведения наблюдений с целью определения  $\alpha$ . Однако, к сожалению, прозрачность атмосферы была очень плохой, и наблюдалось появление только 7 звезд от 0 до 3.4 звездной величины в области зенита (в созвездиях Лиры и Лебеда). Как мы уже отмечали выше, погодные условия фактически не сказываются на коэффициенте  $b$ , и мы считали его равным 0.719, а формулу (4) рассматривали как уравнение относительно  $\alpha$  и  $a$ .

Так как используемые звезды находились на различных зенитных расстояниях, их блеск исправлялся за атмосферное поглощение, но ввиду большой высоты звезд над горизонтом знание точной величины поглощения в зените не требовалось, и мы, учитывая очень плохую прозрачность атмосферы, приняли его равным  $1^m$ .

При обработке было необходимо также учесть, что диск Луны находился выше диска Солнца, что как бы увеличивало глубину погружения затмившегося светила под горизонт. Для учета этого эффекта вводилось понятие «эффективной глубины погружения Солнца», зависящей от положения Луны. Разность между эффективной и истинной глубинами достигало  $0.12^\circ$ .

Линейная фаза солнечного затмения рассчитывалась для точки над наблюдателем, наиболее эффективной с точки зрения рассеяния света (высота около 15 км в начале наблюдений и 65 км - в конце) по данным [2], а закон потемнения Солнца к краю взят из [3] (для длины волны 5500 Å). Расчет производился методом наименьших квадратов. В результате были получены значения  $a$  и  $\alpha$ :

$$a = -2.19 \pm 0.10; \quad \alpha = 1.27 \pm 0.21.$$

Вид функции  $m(h)$  показан на рис.1 точками (здесь уже берется истинное погружение Солнца). Прямая показывает внезатменную функцию  $m(h)$ , соответствующую найденному

значению  $a$ . Очевиден факт раннего появления звезд на вечернем небе во время солнечного затмения, постепенно убывающий из-за уменьшения его фазы.

К сожалению, плохие погодные условия и малое количество звезд не позволили достичь высокой точности определения  $\alpha$ . Однако следует отметить, что полученное значение  $\alpha$  значительно выше, чем при использовании «традиционных» методов. В любом случае, вопрос о точном значении  $\alpha$  остается открытым, и необходимы дальнейшие исследования различными методами, в том числе и методом солнечного затмения.

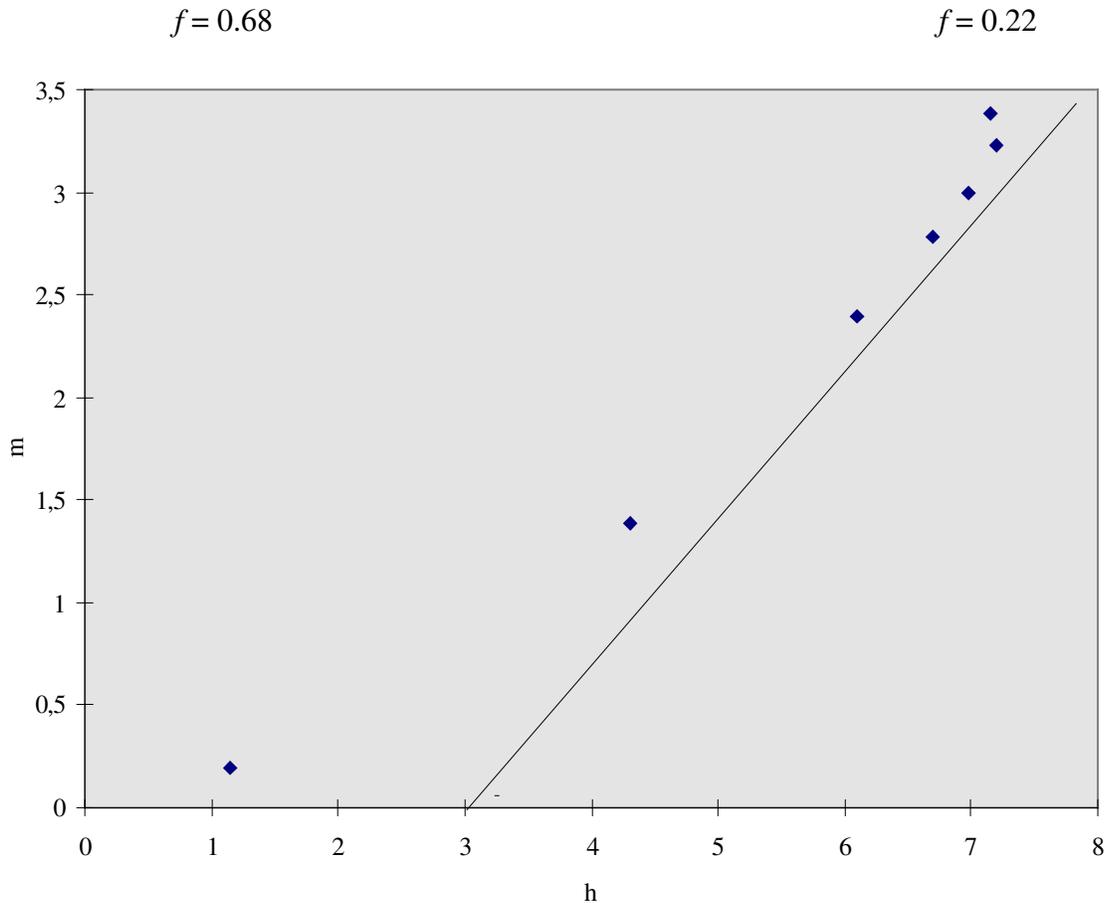


Рис.1. Зависимость предельной звездной величины, видимой невооруженным глазом от глубины погружения Солнца под горизонт во время солнечного затмения (точки) и вне затмения при том же  $a$  (прямая).

## ЛИТЕРАТУРА

1. O.Ugolnikov. Photovisual observation of twilight // Astronomical And Astrophysical Transactions. 1996. V.11. P.107
2. Астрономический ежегодник на 1996 год. Том 1. Стр. 183. ИТА, 1995.
3. К.У.Аллен. «Астрофизические величины». Стр. 244, «Мир», 1977.