

А. С. МЕЛКОНЯН

## О ТОЧНОСТИ ЭЛЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

**Введение.** Точность электрофотометрических измерений зависит от множества факторов, некоторые из которых невозможно контролировать. Такими факторами являются, например, атмосферные условия, температура окружающей среды (для нетермостатированной ФЭУ), свечение ночного неба. Поэтому, наблюдательные данные, касающиеся одной звезды и полученные за весь наблюдательный сезон, являются неравноточными. Следовательно, при правильном подходе к вопросу необходимо полученные данные обрабатывать методами статистической обработки неравноточного ряда [5]. Но в этом случае возникает необходимость определения точности каждого отдельного наблюдения. В общем случае вопрос о точности электрофотометрических измерений можно сформулировать так: какова ошибка одного измерения в зависимости от яркости звезды и фона, от соответствующих времен интегрирования и каковы ошибки, вносимые атмосферой и аппаратурой.

Ошибки электрофотометрических измерений определяются в первую очередь квантовыми флуктуациями. Поэтому мы сначала выведем общую формулу для этого, чисто статистического шума и потом, с помощью результатов специально поставленных наблюдений, оценим величину ошибки, вносимую аппаратурой и атмосферой.

**Вывод формулы.** Приведем вывод формулы среднеквадратичной ошибки яркости звезды (в звездных величинах), определенной по данным одного измерения вида: (звезда+фон)—фон. Имея в виду, что распределение импульсов на выходе ФЭУ пуассоновское, для односекундных измерений напомним:

$$\sigma_0^2 = (n_0^* + n_\Phi) + n_\Phi = n_0^* + 2n_\Phi, \quad (1)$$

где  $\sigma_0^2$  — дисперсия числа импульсов,  $n_0^*$  — математическое ожидание числа импульсов, регистрируемых только от звезды за одну секунду, и  $n_\Phi$  — аналогичная величина для фона. Допустим, что импульсы от звезды мы накапливаем в течение  $\tau^*$  секунд, а от фона —  $\tau^\Phi$  секунд. В процессе обработки полученные после накопления отсчеты  $n_0^{*+\Phi}$  (отсчет измерения звезда+фон) и  $n_\Phi$  делятся соответственно на  $\tau^*$  и дают выборочные средние  $\bar{n}_0^{*+\Phi}$  и  $\bar{n}_\Phi$ . Соответствующие им выборочные дисперсии будут:

$$\sigma_{0^{*+\Phi}}^2 = \frac{\bar{n}_0^{*+\Phi}}{\tau^*}, \quad \sigma_\Phi^2 = \frac{\bar{n}_\Phi}{\tau^\Phi}. \quad (2)$$

Полезный сигнал равен разности

$$\bar{n}_0^{*+\Phi} - \bar{n}_\Phi \quad (3)$$

и, следовательно, для его дисперсии имеем:

$$\sigma^2 = \frac{\bar{n}_0^* + \Phi}{\tau^*} + \frac{\bar{n}_0^\Phi}{\tau^\Phi} = \frac{\bar{n}_0^*}{\tau^*} + \frac{\bar{n}_0^\Phi}{\tau^\Phi} + \frac{\bar{n}_0^\Phi}{\tau^\Phi}. \quad (4)$$

Для относительной ошибки полезного сигнала получим:

$$\delta_* = \frac{\sigma_*}{n_0^*} = \sqrt{\frac{1 + \frac{\bar{n}_0^\Phi}{n_0^*} \left(1 + \frac{\tau^*}{\tau^\Phi}\right)}{\bar{n}_0^* \tau^*}}. \quad (5)$$

Известно [2], что среднеквадратичное отклонение звездной величины звезды выражается формулой:

$$\sigma_m = 1.086 \frac{\sigma_*}{n_0^*}. \quad (6)$$

Подставляя (5) в (6) получим:

$$\sigma_m = 1.086 \sqrt{\frac{1 + \frac{\bar{n}_0^\Phi}{n_0^*} \left(1 + \frac{\tau^*}{\tau^\Phi}\right)}{\bar{n}_0^* \tau^*}}. \quad (7)$$

Используя формулу (7), мы можем найти зависимость  $\sigma_m$  от  $m$  при различных значениях параметров  $\bar{n}_0^\Phi$ ,  $\tau^*$  и  $\tau^\Phi$ . Темновой ток для нашей аппаратуры за год изменяется от 1 до 600 импульсов в секунду. Если иметь в виду, что фотоэлектрические наблюдения возможны и в полнолуние, очевидно, что пределы изменения  $\bar{n}_0^\Phi$  за один наблюдательный сезон будут весьма широкие (от нескольких десятков до нескольких тысяч). Кроме этого, в зависимости от условий наблюдений, в течение одного сезона для одной и той же звезды могут быть выбраны различные времена интегрирования. По этим причинам точность определения звездной величины одной и той же звезды изменится в течение одного наблюдательного сезона. В качестве примера на рис. 1 приведены две пары кривых зависимости  $\sigma_m$  от  $m$ . Одна пара (нижняя) при  $\bar{n}_0^\Phi = 8$ ,  $\tau^* = 60$  с,  $\tau^\Phi = 60$  и 15 с и другая — при  $\bar{n}_0^\Phi = 512$ ,  $\tau^* = 60$  с,  $\tau^\Phi = 60$  и 15 с. Как видно из рисунка, различие между крайними кривыми так велико, что эти данные, хоть и полученные за один наблюдательный сезон и касающиеся одной и той же звезды, нельзя считать равноточными.

Для практического использования формулы (7) необходимо оценить ошибки, вносимые в результаты измерений аппаратурой и атмосферой. Эти оценки можно получить только из наблюдений.

**Наблюдения.** Наблюдения проводились на телескопе АЗТ—14А Бюраканской обсерватории, на котором установлен одноканальный электрофотометр с ФЭУ-79, работающий в режиме счета фотонов. Использовались пять фильтров —  $u$ ,  $b$ ,  $v$ ,  $r$ ,  $H$ , где  $u$ ,  $b$  и  $v$  это джонсоновские полосы,  $H$  — интерференционный  $H_\alpha$  фильтр с полушириной 12 А, а  $r$  — широкий  $H_\alpha$  фильтр с полушириной 270 А. Угловой диаметр использованной диафрагмы поля был 27". Основная часть наблюдений проводилась в фильтрах  $u$ ,  $r$  и  $H_\alpha$ . Наблюдательная информация записывалась на перфоленту и обрабатывалась на ЭВМ «Наири»-2.

\* Эта формула выведена также в работе [1], о чем мы узнали после окончания настоящей работы.

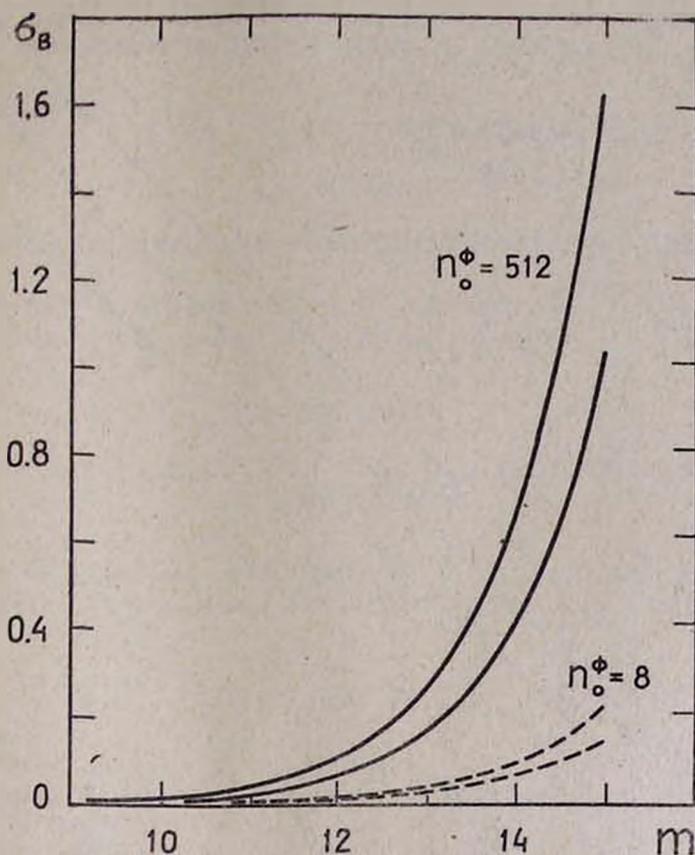


Рис. 1. Сплошные линии показывают зависимость  $\sigma_B$  от  $m$  при  $n_0^\phi = 512$  имп/с,  $\tau^* = 60$  с,  $\tau^\phi = 60$  с (нижняя) и  $\tau^\phi = 15$  с (верхняя); пунктирные линии — при  $n_0^\phi = 8$  имп/с  $\tau^* = 60$  с,  $\tau^\phi = 60$  и 15 с

Порядок наблюдений был таков: одна и та же звезда при определенных значениях параметров, входящих в формулу (7), наблюдалась вблизи меридиана подряд несколько раз (один цикл). По определенным из этих наблюдений видимым величинам определялась  $\sigma_H$  — наблюдаемая среднеквадратичная ошибка одного измерения. По тем же значениям параметров с помощью формулы (7) вычислялась  $\sigma_B$  — вычисленная ожидаемая ошибка. С целью обеспечения однородности данных мы стремились к тому, чтобы продолжительность одного цикла не превышала 20 мин, поэтому число измерений в одном цикле было от 6 до 18 в зависимости от яркости наблюдаемой звезды. Во время обработки, если были сомнения по поводу постоянства экстинкции,  $\sigma$  вычислялась по разности двух последовательных оценок видимой величины звезды. Почти всегда значения  $\sigma$ , определенные таким образом, не отличались от значений  $\sigma_H$ .

**Анализ полученных данных.** По полученным данным построена диаграмма  $\sigma_H$  —  $\sigma_B$ , которая приведена на рис. 2. Регрессионный анализ зависимости  $\sigma_H$  от  $\sigma_B$  дает:

$$\sigma_H = \beta \cdot \sigma_B + \alpha = 0.948\sigma_B + 0.006. \quad (8)$$

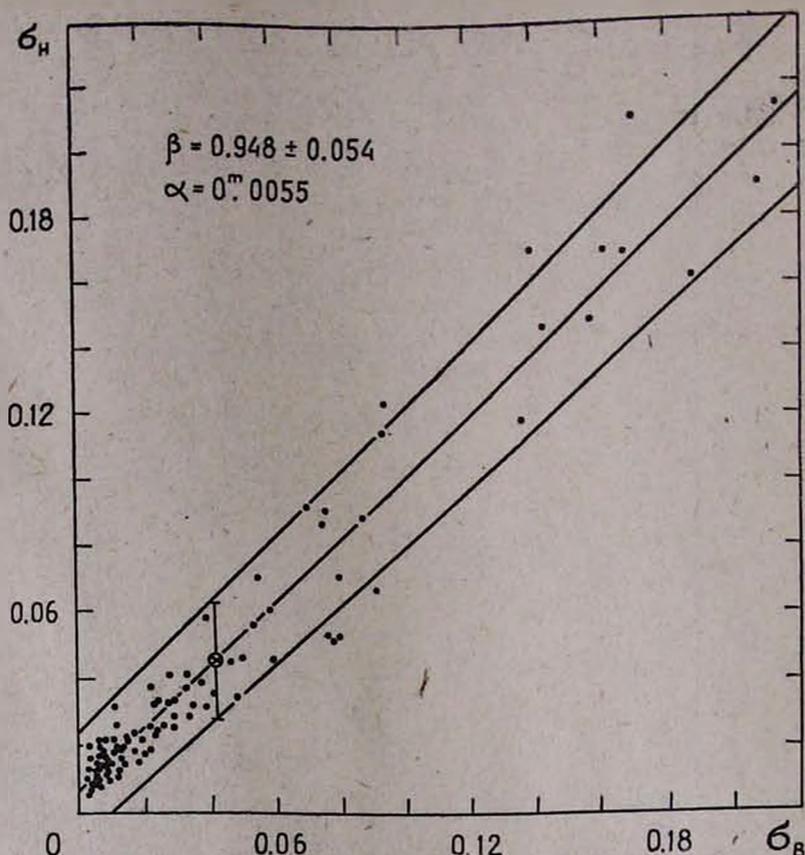


Рис. 2. Зависимость между наблюдаемой ( $\sigma_n$ ) и вычисленной ( $\sigma_b$ ) среднеквадратичными ошибками

Как видно из формулы (8), коэффициент регрессии  $\beta$  между величинами  $\sigma_n$  и  $\sigma_b$  близок к единице ( $\beta = 0.948 \pm 0.054$ ). Это свидетельствует о том, что наблюдаемые ошибки хорошо описываются формулой (7) и что ошибки, вносимые мерцанием и аппаратурой, сравнительно невелики. Тот факт, что значение  $\beta = 1$  лежит в пределах доверительного интервала для  $\beta$  указывает на случайность отклонения значения  $\beta$  от единицы.

Таким образом, ошибки наших измерений, если только яркость звезд не слишком велика, в основном определяются квантовыми флуктуациями. Это можно было ожидать, так как, согласно [3, 4], при наблюдениях с большим телескопом на малых зенитных расстояниях и с большим временем интегрирования (у нас от 20 до 99 с) все эффекты мерцания, в том числе и хроматические, незначительны.

**Закключение.** Настоящая работа показывает, что ошибку одного электрофотометрического измерения можно оценить по данным одного наблюдения яркости звезды, если предварительно выполнить специальные наблюдения, позволяющие определить значения  $\alpha$  и  $\beta$  для местной фотометрической системы.

Автор выражает искреннюю признательность В. С. Осканяну за детальное обсуждение настоящей работы и сделанные им замечания.

30 июля 1984 г.

Ա. Ս. ՄԵԼԿՈՆԻԱՆ

ԷԼԵԿՏՐՈՓՈՏՈՄԵՏՐԻԿ ԴԻՏՈՒՄՆԵՐԻ ԺՇՏՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ

Առաջարկված է մի եղանակ, որը թույլ է տալիս մեկ շափումից որոշել աստղի էլեկտրալուսաչափական մեկ դիտման սխալը:

A. S. MELKONIAN

ON THE ACCURACY OF THE ELECTROPHOTOMETRIC OBSERVATIONS

A method, permitting to determine the error of an electrophotometric observation of a star from a single measurement, is presented.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Ю. Теребиж, Труды ГАИШ, 53 188, 1983,
2. В. Б. Никонов, В кн.: Курс астрофизики и звездной астрономии, отв. ред. акад. А. А. Михайлов, т. 1, изд. 3-е, М., Наука, с. 134, 1973.
3. Л. Н. Жукова, Изв. Главной астрон. обс., 162, 12, 1958.
4. W. M. Protheroe, Contr. Perkins Obs., Delaware, Ohio № 11—4, 1955.
5. Т. А. Агекян, Основы теории ошибок для астрономов и физиков, М., Наука, 1968.