

УДК: 524.33:520.8

О МАССОВОЙ ФОТОГРАФИЧЕСКОЙ ФОТОМЕТРИИ ЗВЕЗД

Р.А.ВАРДАНЯН, М.Ш.КАРАПЕТЯН

Поступила 10 апреля 1996

Принята к печати 25 апреля 1996

Предлагается новый метод массовой фотографической фотометрии. В основе данного метода лежит использование предложенного авторами нового параметра Φ_1 , который линейно зависит от m , во всем диапазоне звездных величин.

1. *Введение.* Классические методы фотографической фотометрии описаны во многих книгах, посвященных методам астрономии [1]. Основной фотографической фотометрии является построение характеристических кривых, которые показывают зависимость между оптическими плотностями или диаметрами изображений звезд и звездными величинами. С помощью характеристической кривой определяются неизвестные фотографические звездные величины звезд. Характеристические кривые имеют узкую область линейной зависимости, где и работает астроном. Вне этой области обычно ошибки увеличиваются и трудно получить достоверные данные для звездных величин. В настоящей работе поставлена цель - увеличить интервал рабочего диапазона новой характеристической кривой, фактически охватывая весь участок кривой.

2. *Выбор двух новых параметров и зависимость между ними.* Сущность выбора двух новых параметров заключается в следующем. Современные измерительные и вычислительные системы дают возможность детально фотометрировать (например, с помощью микроденситометра PDS) предельно слабые объекты (минимум 3×3 элемента). Средний уровень фона фотопластинки или отдельной области можно получить после медианной фильтрации самыми различными методами [2, 3]. Затем можно определить площадь S (пропорционально количеству элементов n) и максимум оптической плотности h для каждой звезды. Первый новый параметр определяется как отношение площадей изображений звезд (S_i) к логарифму максимума оптической плотности $\lg h_i$, то есть

$$X_i = S_i / \lg h_i. \quad (1)$$

Второй параметр определяется как логарифм суммы оптических плотностей всех элементов для каждой звезды

$$Y_i = \lg V_i = \lg \sum_{j=1}^m \lg I_j / T_j, \quad (2)$$

где m - число пикселей изображения каждой звезды, T - коэффициент пропускания. После вычисления параметров (X_i, Y_i) , была построена зависимость между ними.

На рис. 1 приводится эта зависимость для открытого звездного скопления NGC 6913, по снимку, полученному на 6 м телескопе. На основе внешней формы можно предположить, что эта зависимость имеет форму окружности. Но для того, чтобы доказать это, полученную зависимость мы представили в виде экспоненциальной функции $y = ae^{-ax}$, степенной функции и окружности $x^2 + y^2 = R^2$. Наши данные были аппроксимированы этими функциями нелинейными методами наименьших квадратов. Среднеквадратичное отклонение точек на рис. 1 в случае окружности 1.7 раза меньше, чем в случаях экспоненциальной и степенной зависимостей.

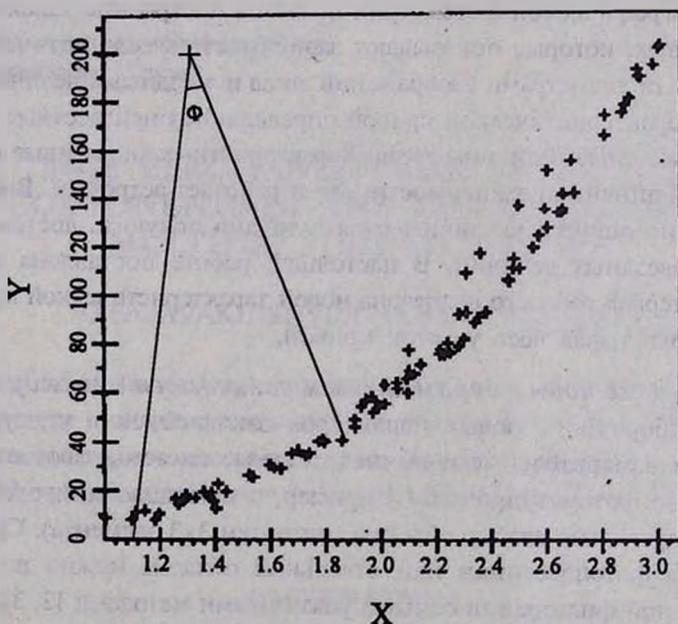


Рис. 1. Зависимость между параметрами X и Y . Через $+$ схематически обозначен центр окружности.

3. Анализ зависимости между параметрами $X = S/\lg h$ и $Y = \lg V$. Опишем способ нахождения центра окружности для зависимости (x, y) . В первом приближении для центра окружности берется минимум из значений Y_i и максимум из X_p , т.е. (x_{\min}, y_{\max}) . Далее, определяется расстояние центра от каждой точки (R_i) , среднее значение радиуса \bar{R}_i и

среднеквадратичное отклонение R_i от среднего значения величины \bar{R}_i , т.е. σ . В дальнейшем, меняя центр окружности (постепенно уменьшая шаги dx , dy) по всем направлениям, находим точку (центр окружности), при котором дисперсия расстояний точек от найденного центра становится минимальной.

Расчеты показывают, что между суммой параметров X_i и Y_i (X_i+Y_i) ($i=1,2,\dots,n$) и величинами Φ_i (см. рис. 1) существует линейная зависимость.

Для наглядности на рис. 2 приводится эта зависимость в случае стандартной области SA68.

Линейная зависимость между величинами Φ_i и x_i+y_i (почти без разбросов), начиная от самых слабых до самых ярких звезд, указывает на то, что относительные ошибки определения величин Φ_i или x_i+y_i на всей шкале звездных величин одинаковы. Следовательно Φ_i можно выбрать как основной параметр построения характеристической кривой.

Теперь остановимся на вопросе о смысле линейной зависимости между величинами Φ_i и x_i+y_i . (Для этой цели мы остановимся на интерпретации значений суммарной величины X_i+Y_i , где $X_i=S_i/\lg h_i$, $Y_i=\lg V_i$).

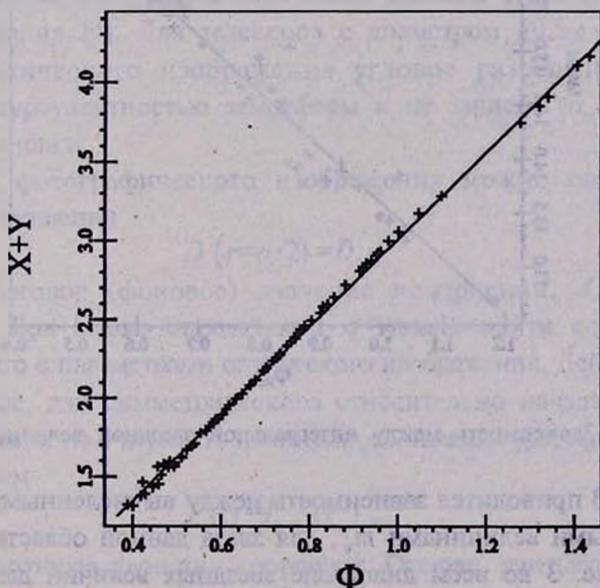


Рис. 2. Зависимость между параметрами $X+Y$ и Φ .

Как видно из рис. 1 величина Y сначала растет медленно, а в конце круто, а величина X - наоборот; в начале зависимости - быстро, а в конце (то есть при больших яркостях звезд) - медленнее. Это вполне объяснимо. Действительно, для слабых звезд с увеличением яркости увеличивается как величина S , так и $\lg h$, а для ярких звезд - S

увеличивается быстрее, чем $\lg h$, поскольку происходит насыщение.

Что касается величины $Y = \lg V$, то поскольку для слабых звезд с увеличением яркости быстро увеличиваются и S , и $\lg h$, то естественно ожидать увеличения $\lg V$, поскольку $V = f(S, h)$. В дальнейшем, для ярких звезд величина S увеличивается гораздо медленнее, чем для слабых звезд.

4. *О форме зависимости между параметрами Φ_1 и визуальными звездными величинами.* Линейная зависимость $\Phi_1 = a(x_1 + y_1) + b$ вполне может быть объяснима, если Φ_1 линейно зависит от звездной величины ($\Phi_1 = a'm_1 + b'$). Для этой цели рассмотрим зависимость между Φ_1 и m_1 , используя изображение стандартной области SA68, полученное на 1 метровом телескопе системы Шмидта БАО. Изображение области SA68 было сканировано на микроденситометре PDS1010A и обработано на системе AIDA, разработанной в БАО.

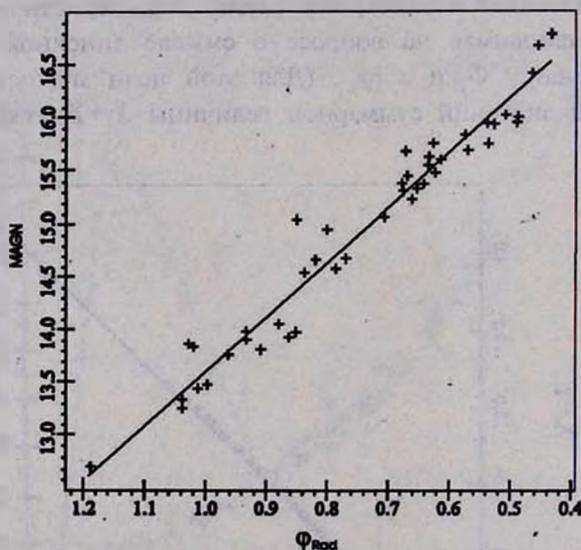


Рис. 3. Зависимость между интегральной звездной величиной и Φ_1 .

На рис. 3 приводится зависимость между вычисленными значениями Φ_1 и звездными величинами m_1 , для звезд данной области (SA68). Как видно из рис. 3 во всем диапазоне звездных величин данная характеристическая кривая остается линейной. Фактически, имея для некоторой выборки звезд (какой-то области) звездные величины и Φ_1 , можно с помощью новой характеристической кривой определить звездные величины для всех остальных звезд, расположенных в данной области.

Итак, параметр Φ_1 , который линейно зависит от величины $(x_1 + y_1)$ и m_1 , является основным параметром для новой характеристической кривой (рис. 3).

5. Численное моделирование. Для обоснования полученных эмпирических зависимостей проведено численное моделирование и расчет соответствующих денситометрических величин.

Пусть фотографическое изображение звезды задается зависимостью оптической плотности почернения от координат x и y на плоскости изображения $D(x, y)$. Оно получается преобразованием распределения интенсивности оптического изображения звезды - $I(x, y)$. Это преобразование задается характеристической кривой $D=D(h)$, где $h=It$, а t - время экспозиции. Примем следующие допущения относительно основных величин.

а) Распределение интенсивности в оптическом изображении звезды в плоскости фотографического приемника симметрично относительно начала координат и определяется только двумя параметрами I_0 и r_0 следующим образом

$$I(x, y) = \frac{I_0}{\pi r_0^2} \exp\left\{-\frac{r^2}{r_0^2}\right\}, \quad (3)$$

где $r^2 = x^2 + y^2$, r_0 - параметр Фрида. Это приближение иногда называется моделью Фрида и учитывает фазовые искажения, введенные турбулентностью атмосферы, абберации оптической системы телескопа и неточности гидирования [4]. Для телескопа с диаметром ≥ 0.5 м и хорошим качеством оптического изображения угловое разрешение $\leq 5''$, r_0 определяется турбулентностью атмосферы и не зависит от конкретной приемной установки.

б) Размер фотографического изображения можно определить с помощью соотношения

$$D(r=d/2) = D_1, \quad (4)$$

где D_1 - пороговое (фоновое) значение почернения, d - диаметр изображения. При таком определении d можно найти соотношение, связывающее его с параметрами оптического изображения. Действительно, в общем случае, для симметрического относительно начала координат изображения, если не учитывать нелинейного явления фотографического процесса, имеем

$$I(r) = I_0 f(r^2), \quad (5)$$

где $f(r^2)$ - некоторая функция координат. Отсюда, учитывая (2) и (3), получаем

$$\lg f(d^2) = a \cdot \lg I_0, \quad (6)$$

где $a = D^{-1}(D_1)$.

В частности, если $I(r)$ определяется соотношением (5), уравнение (6) примет вид (ср. [2], стр. 337)

$$d^2 = A(\lg I_0 \cdot B) \quad (7)$$

где A и B - некоторые постоянные.

Численное моделирование уравнений (3)-(7) было проведено по следующей схеме. Задаются исходные данные задачи, а именно - аппроксимирующие выражения для характеристической функции и пороговое значение D_p . Далее для значений I_0 , соответствующие почернения которых находятся как в линейной, так и в нелинейной (нижней конечной) участках характеристической функции, определяются распределения почернения $D(r)$. С помощью (7) определяется диаметр и площадь изображения

$$S = \pi d^2 / 4 . \quad (8)$$

Определяются также величины

$$h = \max_s D(r) \quad (9)$$

и с помощью численного интегрирования

$$S = \int_0^{d/2} D(r) 2\pi r dr , \quad (10)$$

что позволяет построить зависимости между величин $X = S / \lg h$ и $Y = \lg V$.

Как показывают результаты расчетов, проведенных для различных значений R_0 , а также для нескольких типичных характеристических кривых, зависимость X и Y можно аппроксимировать уравнением окружности. В этом смысле можно считать, что эта связь является универсальной и выражает особенности фотографического процесса.

Авторы выражают благодарность В.Галояну за помощь в вычислениях.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория, Армения

ON MASS PHOTOGRAPHIC PHOTOMETRY OF STARS

R.A.VARDANIAN, M.Sh.KARAPETIAN

A new method of mass photographic photometry has been suggested. In this method has been used a new parameter Φ_p , suggested by authors, which is correlated lineary with m in the whole range of stellar magnitude.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методы астрономии, под ред. В.А.Хильтнера, Мир, М., 1967, с. 536.
2. Р.А.Варданян, М.О.Закарян, М.С.Мирзоян, А.Н.Томов, Сообщ. Бюр. обс., №53, 14, 1980.
3. D.L.Fried, JOSA, v.56, №10, p. 1372, 1966.
4. М.Ш.Карпетян, М.А.Мнацаканян, Р.А.Саркисян, Астрон. циркуляр №1544, 35, 1990.