

УДК 520.2.03

Учет уравнения блеска с использованием экспозиций разной длительности.

II. Исследование уравнения блеска астрографа (40/550) ГАО АН УССР

Г. А. Иванов, А. Б. Онегина, А. И. Яценко

На длиннофокусном астрографе ГАО АН УССР проведено исследование уравнения блеска методом многократных экспозиций с использованием каталога опорных звезд. Показано, что фотографирование с двумя экспозициями разной длительности дает возможность определить влияние этой ошибки на положения звезд. Снимки, полученные с дифракционной решеткой, позволили сравнить значения коэффициентов уравнения блеска, определенных двумя способами. Величина ошибки уравнения блеска составляет $+0,05''$ по координате x и $-0,03''$ по координате y на одну звездную величину. Делается вывод о влиянии решетки на положения звезд на пластинке.

CONSIDERATION OF THE MAGNITUDE EQUATION USING EXPOSURES OF DIFFERENT DURATION. II. INVESTIGATION OF THE MAGNITUDE EQUATION FOR THE ASTROGRAPH (400/5500) OF THE MAIN ASTRONOMICAL OBSERVATORY OF THE UKR. SSR ACADEMY OF SCIENCES, by Ivanov G. A., Onegina A. B., Yatsenko A. I.— Investigation of the magnitude equation using the catalogue of reference stars has shown that the photography with two exposures of different duration permitted determining the effect of this error on the stellar position. Magnitude errors are $+0.05''$ and $-0.03''$ per stellar magnitude along the coordinates x and y , respectively.

Исследование уравнения блеска (УБ) на двойном длиннофокусном астрографе ГАО АН УССР (40/550) неоднократно проводилось многими авторами [1, 2, 6], которые, в частности, отмечали большое влияние этой ошибки на положения звезд. Это предопределило выбор данного инструмента в качестве основного для проверки метода исключения УБ по снимкам с несколькими экспозициями разной длительности [4]. Получено четыре снимка (два из них с дифракционной решеткой) скопления Плеяд с тремя экспозициями на каждом (табл. 1). Полученный материал позволил определить УБ методом кратных экспозиций и классическим методом с применением дифракционной решетки. Труба телескопа смещалась от экспозиции к экспозиции по α на 2 мм, а дифракционная решетка ориентировалась так, что дифракционные спутники располагались на пластинках вдоль направления север — юг. Фотографирование выполнялось таким образом, чтобы при переходе к более коротким экспозициям уменьшение диаметров изображений звезд на негативах соответствовало бы ослаблению блеска на 2^m и чтобы диаметры центральных изображений звезд на снимках с решеткой были примерно равны диаметрам изображений этих же звезд на снимках, полученных без решетки. В процессе фотографирования эти условия были почти выполнены. Уменьшение диаметров изображений звезд на снимках без решетки соответствовало ослаблению блеска на 2.1 и 3.7^m относительно первой экспозиции.

В качестве опорного каталога был использован каталог [8], содержащий координаты, собственные движения и звездные величины 502 звезд в окрестности скопления Плеяд. Предварительное исследование его на наличие УБ по звездам скопления не выявило заметного влияния этой ошибки на положения звезд. В центральном участке пластинки диаметром $70'$ ($\alpha_{1950} = 3^h 41^m$, $\delta_{1950} = +23^\circ 40'$), свободном от влияния ошибок комы и дисторсии, были выбраны 22 звезды от 5^m до 10^m , равномерно расположенные по полю пластинки. Звезды были разбиты на шесть групп таким образом, что в каждую группу входило 3—4

звезды, блеск которых различался не больше чем на 0.3^m . Координаты звезд приводились на эпоху наблюдения (все изображения звезд — по три для каждой — были измерены на координатно-измерительной машине «Аскорекорд» Г. А. Ивановым). Обработка измерений снимков проводилась по специальной программе, составленной для ЭВМ ЕС-1022. Она позволяла вносить поправки в измеренные координаты звезд за несопадение оптических центров и поворот системы идеальных координат на угол $\Delta\alpha \cdot \sin \delta$ для различных экспозиций, вследствие смещения телескопа между экспозициями. Затем определялись постоянные пластинки и коэффициенты УБ [4] как по каждой экспозиции в отдельности, так и по всем трем системам изображений звезд совместно. В первом случае в качестве опорных выбирались 22 звезды, во втором — те из этих звезд, диаметры изображений которых ($D_0 = 0.19$ мм) совпадали для разных экспозиций в пределах ошибки определения звездных величин по измерениям диаметров изображений ($\pm 0.2^m$). Таких изображений оказалось 11 для трех экспозиций. Условное уравнение для определения постоянных пластинки имело вид

$$ax_{ij} + by_{ij} + c_j = X_i, \quad (1)$$

$$j = 1 \ (i = 1 \div 3), \quad j = 2 \ (i = 4 \div 7), \quad j = 3 \ (i = 8 \div 11),$$

где j — номер экспозиции; i — номер звезды; X_i — идеальная координата опорной звезды; x_{ij} , y_{ij} — измеренные координаты звезд, исправленные за различие оптических центров для трех экспозиций.

Таблица 1. Характеристики наблюдательного материала, полученного 8 — 9 января 1981 г.

Номер пластинки	Часовой угол	Положение трубы	Продолжительность экспозиций, мин			Примечание
			1	2	3	
6237	$-0^h 58^m$	W	10.0	1.5	0.2	Без дифракционной решетки
6238	$-0 12$	W	25.0	3.0	0.3	С дифракционной решеткой
6239	$+1 02$	E	25.0	3.0	0.3	То же
6240	$+1 52$	E	10.0	1.5	0.2	Без дифракционной решетки

Аналогичная система составлялась и по координате y . Используя найденные постоянные пластинки, можно для разных изображений одной и той же звезды получить идеальные координаты (X'_{ij} , Y'_{ij}), значения которых по разным экспозициям будут различаться между собой только из-за случайных ошибок измерений и УБ. Для определения УБ по всем изображениям 22 опорных звезд решалась система условных уравнений типа

$$d_x(D_{ij} - D_0) + e = X_i - X'_{ij}, \quad (2)$$

$$i = 1 \div 22, \quad j = 1 \div 3.$$

Таким образом, общее количество уравнений равно 66 по каждой из координат. В уравнения (2) вводился свободный член e , так как D_0 в общем случае может отличаться от диаметров тех изображений звезд, по которым производилась связь систем различных изображений с опорным каталогом. Результаты вычисления коэффициента УБ и его среднеквадратичной ошибки (в секундах дуги на 1^m) приведены в табл. 2.

Представление ошибки УБ в виде линейного члена, зависящего от диаметра изображения звезды, приближенно. Поэтому кроме (2) для

Таблица 2. Значения коэффициента УБ и средней квадратичной ошибки его определения ($\pm \sigma$)

Номер пластинок	Система изображений											
	первая яркая		вторая		третья		первые две системы		три системы			
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y		
6237	+0.070"	-0.096"	+0.041"	-0.094"	+0.033"	-0.028"	+0.057"	-0.076"	+0.041"	-0.048"		
6238	+0.045	-0.112	+0.046	-0.110	+0.048	-0.036	+0.070	-0.132	+0.074	-0.103		
6239	-0.070	+0.115	-0.041	+0.034	+0.005	-0.029	-0.068	+0.076	-0.060	+0.058		
6240	-0.109	0	-0.028	-0.007	+0.010	-0.017	-0.038	-0.011	-0.031	-0.010		
$\pm \sigma$	0.029"	0.022"	0.028"	0.023"	0.033"	-0.022"	0.016"	0.014"	0.012"	0.010"		

Таблица 3. Значения коэффициентов k и p для различных систем изображений

Коэффициенты	первая (яркая)		вторая		третья		первые две системы		три системы	
	без решеток	с решеткой	без решеток	с решеткой	без решеток	с решеткой	без решеток	с решеткой	без решеток	с решеткой
k_x	-0.019"	-0.013"	+0.007"	+0.002"	+0.022"	+0.026"	+0.008"	+0.003"	+0.005"	+0.007"
k_y	-0.048	+0.003	-0.051	-0.037	-0.022	-0.032	-0.043	-0.027	-0.029	-0.024
p_x	+0.090	+0.058	+0.035	+0.044	+0.012	+0.023	+0.049	+0.070	+0.036	+0.067
p_y	-0.048"	-0.112"	-0.044"	-0.071"	-0.008"	-0.005"	-0.032"	-0.100"	-0.019"	-0.079"

аппроксимации кривой УБ бралось также уравнение с квадратичными членами вида

$$p_x(D_{ij} - D_0) + q_x(D_{ij} - D_0)^2 = X_i - X'_{ij}, \quad (3)$$

где i — номер звезды; $j = 1, 2, 3$ — номер экспозиции.

Вычисления показали, что такая система решается плохо и дает фиктивные значения коэффициента УБ — корреляция коэффициентов p и q порядка 0.9 (см. также [7]). Затем решалась система уравнений типа

$$q_x(D_{ij} - D_0)^2 + e = X_i - X'_{ij}. \quad (4)$$

Сравнение результатов, полученных при аппроксимации коэффициента УБ формулами (2) и (4), показало, что замена линейного члена, зависящего от звездной величины, квадратичным не дает заметного выигрыша в точности аппроксимации ($X_i - X'_{ij}$). На рис. 1 представлены кривые УБ, полученные с использовани-

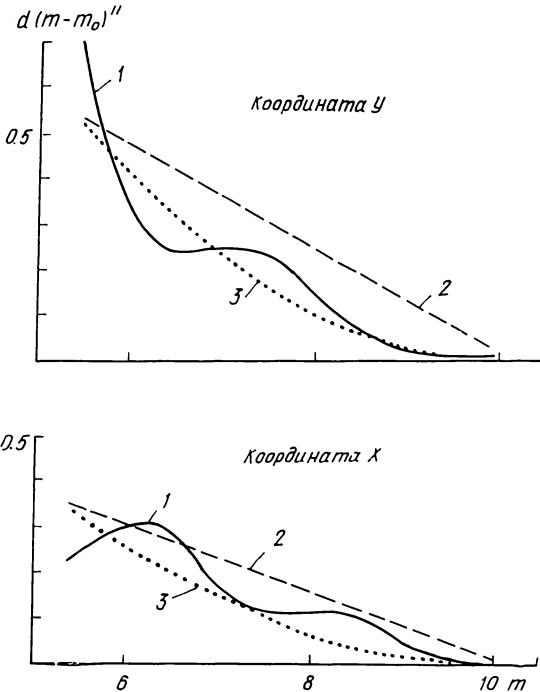


Рис. 1. Кривые уравнения блеска, полученные с использованием значений разности Δ (1), линейного (2) и квадратичного (3) членов

ем линейного d (штриховая) и квадратичного q членов (пунктирная линия), найденных из решения системы уравнений (2) и (4).

Нужно отметить, что системы условных уравнений типа (1), (2) решаются достаточно уверенно. Однако в случае трех экспозиций между коэффициентами b и c_3 (как по координате x , так и по y) имеется значимая (при 5 %-ном уровне значимости) корреляция, $r = +0.54 \pm \pm 0.21$. Если же одновременно обрабатываются две системы изображений (исключается самая короткая экспозиция), корреляции между неизвестными в уравнениях (1) нет.

При обработке астрономических негативов с использованием экспозиций разной длительности для исключения УБ удобнее пользоваться не отдельным решением систем условных уравнений типа (1) и (2) или (1) и (4), а решать систему уравнений, составленную для изображений максимального количества опорных звезд двух экспозиций:

$$X_i = ax_{ij} + by_{ij} + c_j + d_k(D_{ij} - D_0)^k, \quad (5)$$

$$i = 1 \div 22, \quad j = 1 \div 2, \quad k = 1 \text{ или } 2.$$

Подобная система уравнений была решена для всех 44 изображений 22 опорных звезд, и получены значения линейного и квадратичного члена коэффициента уравнения блеска. Однако в этом случае между коэффициентами c_1 и d_1 имеется значимая корреляция порядка 0.75. Сами значения коэффициента d (по сравнению с приведенными в табл. 2) изменяются незначительно.

Как видно из табл. 2, при обработке трех систем изображений значения УБ изменяются, что свидетельствует о нелинейном изменении этой систематической ошибки.

Ошибки определения коэффициента УБ по двум и трем системам изображений (табл. 2) незначительно отличаются при 5 %-ном уровне значимости и значительно меньше соответствующих ошибок, полученных при обработке отдельных систем изображений. Однако применение вместо трех двух экспозиций уменьшает объем измерений и упрощает их обработку. На основании изложенного можно утверждать, что использование в данном методе двух экспозиций разной длительности вполне достаточно для определения УБ. Только для более уверенного его определения необходимо подбирать экспозиции таким образом, чтобы диаметры изображений одной и той же звезды различались на величину, соответствующую изменению блеска звезды на 3^m .

Как известно, наличие и величина УБ зависят от множества факторов, основными из которых принято считать: децентрировку линз объектива (инструментальная часть УБ), метеорологические условия, личную ошибку измерителя, УБ каталога и др. Экспериментальные исследования ошибок подобного рода представляют значительную трудность, поскольку величины весьма малы и вследствие совместного влияния их трудно разделить и выделить в чистом виде. Использование

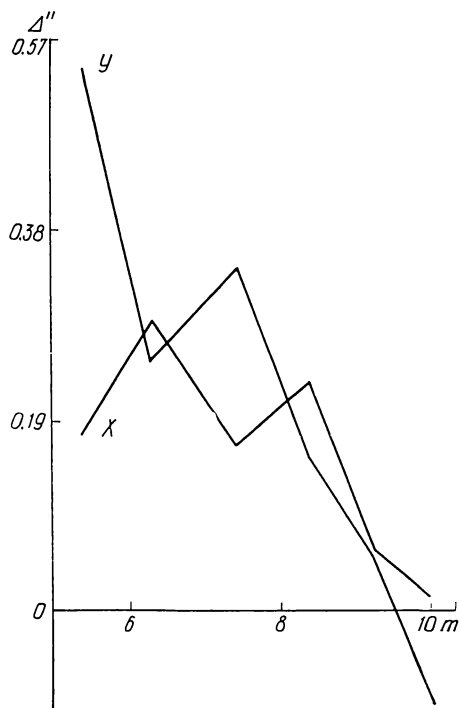


Рис. 2. Графики усредненных значений Δx , Δy для шести групп звезд

наблюдательного материала, полученного при положении трубы к востоку и западу от колонны инструмента, дает возможность выделить инструментальную часть УБ, которая меняет свой знак при переключке трубы инструмента, а также неинструментальную часть этой ошибки (личная ошибка измерителя, УБ каталога и др.), не зависящую от положения трубы. Если коэффициенты УБ, определенные по снимкам, полученным при положениях трубы W и E , обозначить $d_{W_{x,y}}$ и $d_{E_{x,y}}$, то можно записать

$$d_{W_{x,y}} = k_{x,y} - p_{x,y}, \quad (6)$$

$$d_{E_{x,y}} = k_{x,y} + p_{x,y},$$

где $k_{x,y}$ — часть ошибки УБ, зависящая от личной ошибки измерителя и ошибки УБ опорного каталога; $p_{x,y}$ — часть ошибки УБ, вызванная децентрировкой объектива.

Из уравнений (6) получим

$$k_{x,y} = \frac{1}{2} (d_{E_{x,y}} + d_{W_{x,y}}), \quad (7)$$

$$p_{x,y} = \frac{1}{2} (d_{W_{x,y}} - d_{E_{x,y}}).$$

В табл. 3 приведены значения k и p для снимков с решеткой и без нее для различных комбинаций систем изображений. Как видно, зна-

чения УБ каталога в отличие от УБ инструментального имеют более близкие значения для снимков, полученных с решеткой и без нее, что говорит о влиянии дифракционной решетки на положения центральных изображений звезд на пластинке. Изменение времени экспозиции влияет на величину коэффициентов k и p . Причем на изменение значений коэффициента k , по-видимому, влияет в основном личная ошибка измерителя.

Обработка снимков, полученных с дифракционной решеткой, также позволила определить УБ как разность (Δ) среднего из положений дифракционных спутников (a , b) относительно центрального изображения звезды (c):

$$\Delta = (a + b)/2 - c. \quad (8)$$

Параметры решетки приведены в [5]. Отметим только, что спутники 1-го порядка слабее центрального изображения звезды на 3.2^m . На рис. 2 приведены графики усредненных значений Δ_x , Δ_y для шести групп звезд. Наличие изменения Δ свидетельствует о нелинейном виде кривой УБ, что также подтверждается результатами определения коэффициента p (табл. 3). Сравнение усредненных результатов определения коэффициента УБ по снимкам с решеткой с использованием формулы (8) — $\Delta_{\text{ср}}$ и формулы (7) — значения p (см. табл. 3, графу 9) показало хорошее согласие

$$\begin{array}{rcc} & x & y \\ \Delta_{\text{ср}} & + 0.076'' & - 0.102'' \\ p & + 0.070'' & - 0.100'' \end{array} \quad (9)$$

Поскольку положения дифракционных спутников у ярких и слабых звезд измерялись неуверенно, то для подсчета $\Delta_{\text{ср}}$ включались значения Δ , вычисленные для звезд $7 \div 9^m$. На рис. 1 представлены кривые УБ, полученные с использованием значений Δ (кривая 1).

Выводы. Наличие достаточного количества опорных звезд на пластинке ($20 \div 40$) с известными координатами и собственными движениями позволяет определить УБ в линейной (2) или квадратичной форме (4) сравнением их измеренных и тангенциальных координат. Для распространения системы опорных звезд в область слабых объектов необходимо сделать дополнительную, короткую экспозицию. Причем время экспонирования подобрать таким, чтобы устранить влияние некоррелированных дрожаний по фронту объектива на положения звезд. Найденные таким образом значения УБ представляют собой разность инструментальной и каталожной части УБ (см. формулу (2)). В этом случае опорный каталог должен иметь минимальное УБ. В противном случае для исключения УБ каталога необходимо обрабатывать снимки исследуемой области при положении трубы по обе стороны от колонны инструмента.

Результаты определения УБ с использованием значений Δ хорошо согласуются со значениями p , полученными по центральным изображениям звезд на снимках с дифракционной решеткой (9). Однако дифракционная решетка, по-видимому, вносит изменения в структуру изображений звезд на пластинке, что приводит к изменению их положений. Это хорошо видно из сравнения значений коэффициента УБ p , полученного без применения решетки и с решеткой. Разница достигает величины $0.06''$. Ранее в работе [3] было получено хорошее согласие в результатах с применением дифракционной решетки и без нее. Видимо, необходимо провести более тщательное исследование влияния дифракционной решетки на положения звезд на пластинке, а также вклад личной ошибки измерителя в ошибку уравнения блеска по большому количеству звезд различного блеска с использованием каталога, аналогичного [8].

1. Гуртовенко Э. А. К вопросу об ошибке «уравнения яркости» в астрометрии.— Изв. Гл. астроном. обсерватории АН УССР, 1957, 2, с. 95—111.
2. Иванов Г. А. Влияние «уравнения блеска» на положения звезд по наблюдениям на двойном длиннофокусном астрографе ГАО АН УССР.— Киев, 1978.—34 с.—Рукопись деп. ВИНТИ, 10.01.79, № 89—79 Деп.
3. Иванов Г. А. К вопросу об исследовании уравнения блеска.— Астрометрия и астрофизика, 1982, вып. 48, с. 59—63.
4. Иванов Г. А., Онегина А. Б., Яценко А. И. Модель учета уравнения блеска с использованием экспозиций разной длительности.— Там же, 1984, вып. 53, с. 53—56.
5. Онегина А. Б. Некоторые результаты измерения негативов, полученных с объективной решеткой.— Изв. Гл. астроном. обсерватории АН УССР, 1962, 4, вып. 2, с. 24—32.
6. Онегина А. Б. Атмосферная дисперсия и уравнение блеска для 400-мм астрографа ГАО АН УССР.— Астрометрия и астрофизика, 1969, вып. 5, с. 62—71.
7. Шокин Ю. А. О редукации измеренных координат к идеальным с использованием членов, зависящих от блеска и цвета звезд.— Сообщ. Гос. астроном. ин-та им. П. К. Штернберга, 1974, № 190, с. 3—20.
8. Eichhorn H., Googe W. P., Zukac S. F., Murphy J. K. Accurate positions of 502 stars in the region of the Pleiades.— Mem. Roy. Astron. Soc., 1970, 73, pt 2, p. 125—151.

Главная астрономическая обсерватория АН УССР,
Киев

Поступила в редакцию
16.07.1984

РЕФЕРАТ ДЕПОНИРОВАННОЙ РУКОПИСИ

УДК 524.33

Ковальчук Г. У.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД V 346 Ori и V 351 Ori

(Рукопись депонирована в ВИНТИ, № 2159—84 Деп.)

Приведены результаты пятицветной *UBVRI* — электрофотометрии нестационарных звезд V 346 Ori и V 351 Ori, выполненной в 1975—1983 гг. Дается краткое описание методики учета эффектов нелинейности приемно-регистрирующего тракта, применяемого при наблюдениях электрофотометра, учета коэффициента экстинкции и перевода величин из инструментальной фотометрической системы в международную стандартную систему. Приведена блок-схема электрофотометра. Кратко излагается история исследования переменности изучаемых объектов. Результаты наблюдений (по ~450 пятицветным оценкам блеска для каждой из переменных) приведены в форме таблиц.

РЕФЕРАТ ПРЕПРИНТА

УДК 524.37

Колесник И. Г., Пилюгин Л. С.

ВЛИЯНИЕ ДВОЙСТВЕННОСТИ ЗВЕЗД НА ФОРМЫ ПЛАНЕТАРНЫХ ТУМАННОСТЕЙ

(Препринт ИТФ-84-120Р)

Рассмотрено формирование пространственной структуры планетарных туманностей в двойных системах. Получена простая формула, описывающая угловое распределение плотности в туманностях. Биполярные структуры эффективно формируются в системах, в которых скорость движения расширяющейся оболочки звезды меньше орбитальной скорости спутника. Массы спутников лежат в интервале 0.1—0.4 M_{\odot} . Рассчитанные изофоты для модели планетарной туманности NGC 3587 согласуются с наблюдаемыми. Отмечено, что двойственность ядер планетарных туманностей — широко распространенное явление.