

УДК 520.2.03

UBVRI фотометрическая система менискового телескопа МТМ-500

А.Н. Рублевский, Н.Н. Киселев

ФГБУН “Крымская астрофизическая обсерватория РАН”, Научный, Крым, 298409
anr@crasrimea.ru

Поступила в редакцию 23 мая 2019 г.

Аннотация. Приведена методика и результаты определения коэффициентов перехода от инструментальных величин блеска в полосах *u*, *b*, *v*, *r*, *i* к полосам системы Джонсона – Кузинса *U*, *B*, *V*, *R*, *I* телескопа МТМ-500.

UBVRI PHOTOMETRIC SYSTEM OF THE MENISCUS TELESCOPE MTM-500, *by A.N. Rublevskiy, N.N. Kiselev.* We present the method and results of defining coefficients while passing on from the instrument brightness values in *u*, *b*, *v*, *r*, *i* bands to *U*, *B*, *V*, *R*, *I* bands of the Johnson – Cousins system at the telescope MTM-500.

Ключевые слова: фотометрическая система, коэффициенты экстинкции

1 Введение

Оптика менискового телескопа МТМ-500 ($D = 50$ см, $F = 1/13$), изготовленного Ленинградским оптико-механическим объединением (ЛОМО) в 1950 г., представляет собой зеркально-линзовую систему, разработанную Д.Д. Максуповым (Максупов, 1944). Телескоп был одним из первых, установленных в КрАО. С 1963 года наблюдения на нем проводились, используя высокочувствительную телевизионную трубку суперизокон ЛИ-804, которая в 2014 г. была заменена камерой Argee Alta U6 с чипом 1024×1024 и колесом фильтров Argee FW50-9R, содержащим фильтры *u*, *b*, *v*, *r*, *i*. Телескоп с камерой Argee Alta имеет поле зрения $14' \times 14'$, проникающая сила в фильтре *r* составляет ≈ 15 звездную величину при экспозиции 60 с. В связи с заменой фотоприемника телескопа возникла необходимость получения коэффициентов перехода от инструментальной системы величин *u*, *b*, *v*, *r*, *i* к системе UBVRI Джонсона – Кузинса.

2 Методика привязки фотометрической системы и редуционные соотношения

Существует несколько методов определения связи инструментальных фотометрических систем с широко применяемыми стандартными фотометрическими системами (Zhang et al., 2013). Следуя

Харди (1967), запишем выражения, связывающие внеатмосферные величины и цвета звезд в стандартной фотометрической системе V, U–B, B–V, V–R и R–I с наблюдаемыми величинами и цветами звезд в инструментальной системе v, u–b, b–v, v–r и v–i на воздушной массе X:

$$V = v - k_v X + \alpha(B - V) + C1 \quad (1)$$

$$B - V = \beta(b - v)(1 - k''_{bv} X) - \beta k'_{bv} X + C2 \quad (2)$$

$$U - B = \gamma(u - b)(1 - k''_{ub} X) - \gamma k'_{ub} X + C3 \quad (3)$$

$$V - R = \delta(v - r) - \delta k'_{vr} X + C4 \quad (4)$$

$$V - I = \eta(v - i) - \eta k'_{vi} X + C5 \quad (5)$$

$$X = \sec(z) - 0.0018167(\sec(z) - 1) - 0.002875(\sec(z) - 1)^2 - 0.0008083(\sec(z) - 1)^3, \quad (6)$$

где $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \eta$ – искомые коэффициенты редукции, $k'_{bv}, k'_{vr}, k'_{vi}$ – коэффициенты экстинкции атмосферы, k''_{ub}, k''_{bv} – вторичные коэффициенты экстинкции (коэффициенты Форбса), z – зенитное расстояние звезды, константы C1, C2, C3, C4, C5 связаны с чувствительностью приемной аппаратуры. В связи с небольшим количеством устойчивых фотометрических ночей в Крымской астрофизической обсерватории, чтобы исключить экстинкцию земной атмосферы, мы использовали дифференциальный метод для определения коэффициентов редукции. Суть метода состоит в получении разности звездных величин и цветов n звезд компактного скопления разных цветов и блеска по отношению к звезде, выбранной в качестве стандарта (st). Стандарт должен быть ярким, а его показатели цвета примерно средними по отношению к выбранным звездам наблюдаемой площадки, n должно быть порядка $10 \div 20$. Если площадка компактная и наблюдения проводятся около меридиана, где изменения воздушной массы минимальны, то можно пренебречь дифференциальной экстинкцией для звезд и ее возможной нестабильностью. Применяя систему уравнений (1–6), запишем разности величин и цветов выбранных звезд по отношению к выбранному стандарту st:

$$\Delta V = \Delta v + \alpha \Delta(B - V) \quad (7)$$

$$\Delta(B - V) = \beta \Delta(b - v)(1 - k''_{bv} X) \quad (8)$$

$$\Delta(U - B) = \gamma \Delta(u - b)(1 - k''_{ub} X) \quad (9)$$

$$\Delta(V - R) = \delta \Delta(v - r) \quad (10)$$

$$\Delta(V - I) = \eta \Delta(v - i), \quad (11)$$

где

$$\Delta v_i = (v_i - v_{st})$$

$$\Delta(b - v)_i = \Delta(b - b)_i - \Delta(v - v)_{st} = (b - v)_i - (b - v)_{st}$$

$$\Delta(u - b)_i = \Delta(u - u)_i - \Delta(b - b)_{st} = (u - b)_i - (u - b)_{st}$$

$$\Delta(v - r)_i = \Delta(v - v)_i - \Delta(r - r)_{st} = (v - r)_i - (v - r)_{st}$$

$$\Delta(v - i)_i = \Delta(v - v)_i - \Delta(i - i)_{st} = (v - i)_i - (v - i)_{st}, i = 1, 2, 3 \dots n.$$

Вторичные коэффициенты экстинкции атмосферы (коэффициенты Форбса) характеризуют эффект Форбса, который возникает из-за зависимости ослабления света от длины волны и характеристик широкополосных фильтров, формирующих u, b, v фотометрическую систему. Для их определения требуется провести u-, b-, v-наблюдения двух звезд с сильно различающимися цветами в широком интервале воздушных масс. Эти коэффициенты можно найти из уравнений (8) и (9), которым удобно придать вид:

$$\beta \Delta(b - v)_i k''_{bv} X_i = \beta \Delta(b - v)_i - \Delta(B - V) \quad (12)$$

$$\gamma \Delta(u - b)_i k''_{ub} X_i = \gamma \Delta(u - b)_i - \Delta(U - B), \quad (13)$$

где i – количество наблюдений.

Коэффициенты Форбса k''_{ub} и k''_{bv} , которые являются угловыми коэффициентами прямых, можно найти, исключив из систем уравнений (12), (13) коэффициенты сдвига, и решить их методом наименьших квадратов:

$$\Delta(b - v)_i = k''_{bv} \Delta(b - v)_i X_i \quad (14)$$

$$\Delta(u - b)_i = k''_{ub} \Delta(u - b)_i X_i. \quad (15)$$

3 Наблюдения и результаты

Для получения вторичных коэффициентов экстинкции наблюдались звезды HD 194577 и HD 194495, имеющие разность показателей цвета $\Delta(B - V) = 1.57^1$. Наблюдения проводились 11.07.2018. Воздушная масса менялась в интервале $1.1 \div 3$, экспозиция увеличивалась по мере увеличения воздушной массы и достигла 60 с. После удаления точек, отстоящих от линейного тренда более 3σ , получены 133 и 121 значения $u-b$ и $b-v$ соответственно и зависимости $u-b$ от $X(u-b)$ и $b-v$ от $X(b-v)$.

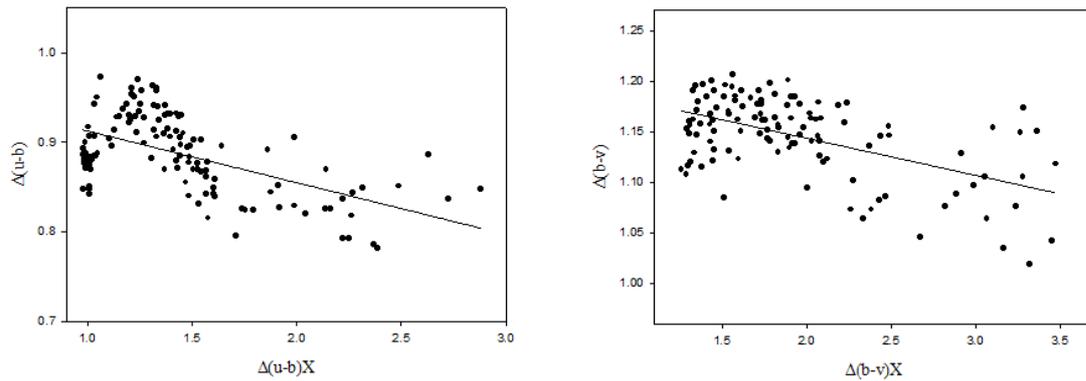


Рис. 1. Зависимости разности показателей цвета двух звезд разных цветов от воздушной массы

По результатам линейной аппроксимации этих данных (рис. 1) получены значения вторичных коэффициентов:

$$k''_{ub} = -0.05 \pm 0.^m01$$

$$k''_{bv} = -0.03 \pm 0.^m01.$$

Для расчета коэффициентов редукции β, γ наблюдались 15 звезд рассеянного скопления NGC 2169 и 28 звезд скопления NGC 2168 для коэффициентов α, δ, η (рис. 2, 3). Наблюдения скоплений NGC 2169 и NGC 2168 проводились 10.04.2018 и 5.02.2019 при экспозиции 60 с, часовой угол изменялся в пределах $23^h30^m \div 00^h30^m$. При расчете коэффициентов δ, η использовались данные каталога AAVSO Photometric All Sky Survey (APASS), в котором приводятся звездные величины в полосах v', r', i' , соответствующие величинам фильтров Sloan Digital Sky Survey (SDSS)², отличающиеся от величин в полосах системы Джонсона – Кузинса. Для приведения в соответствие величин v', r', i' к величинам V_C, R_C, I_C использовались соотношения (16), (17) (Kinoshita et al., 2007) без коэффициентов сдвига:

$$V_C - I_C = 0.91(v' - i') \quad (16)$$

$$V_C - R_C = 0.98(v' - r'). \quad (17)$$

В результате расчета получены коэффициенты редукции:

$$\alpha = -0.17 \pm 0.^m08$$

$$\beta = 1.05 \pm 0.^m1$$

$$\gamma = 2.21 \pm 0.^m03$$

$$\delta = 0.76 \pm 0.^m02$$

$$\eta = 0.85 \pm 0.^m08.$$

¹ simbad.u-strasbg.fr

² <https://www.sdss.org/>

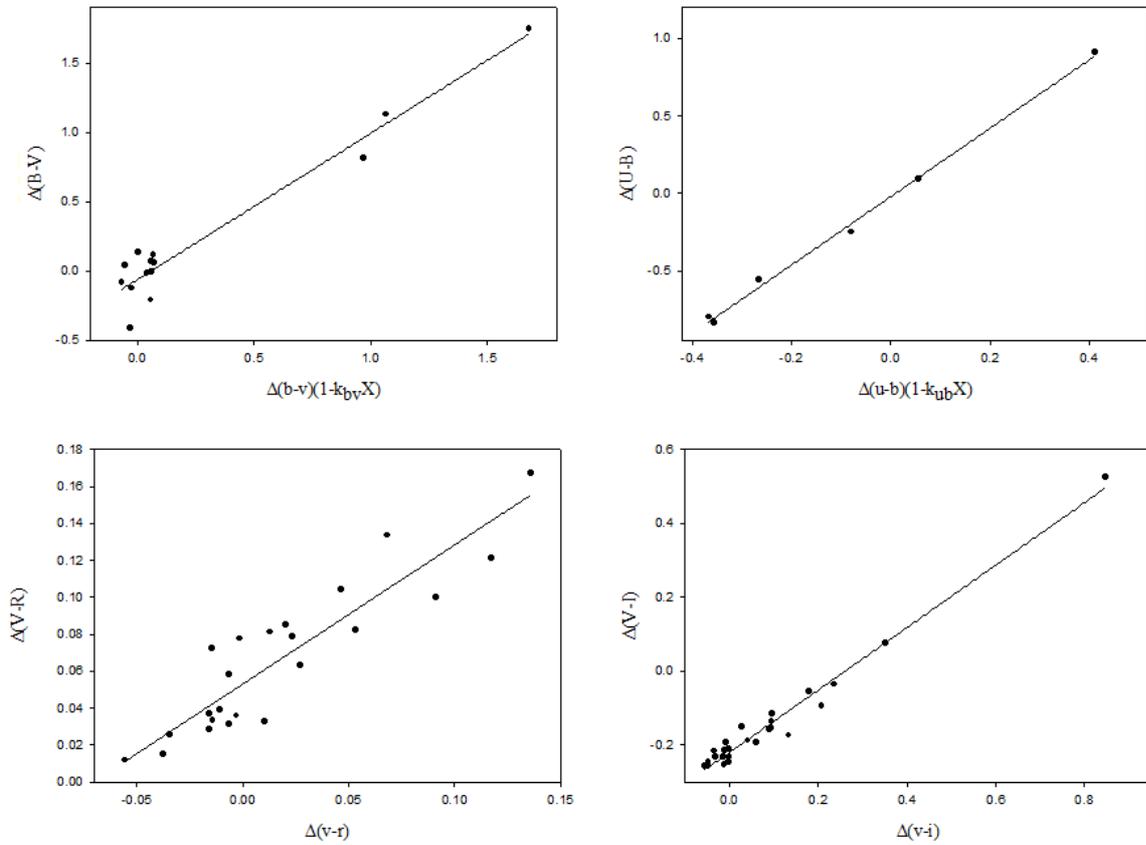


Рис. 2. Связь дифференциальных величин показателей цвета по отношению к стандарту в системе Джонсона–Кузинса и наблюдаемых величин звезд скоплений NGC 2168 и NGC 2169

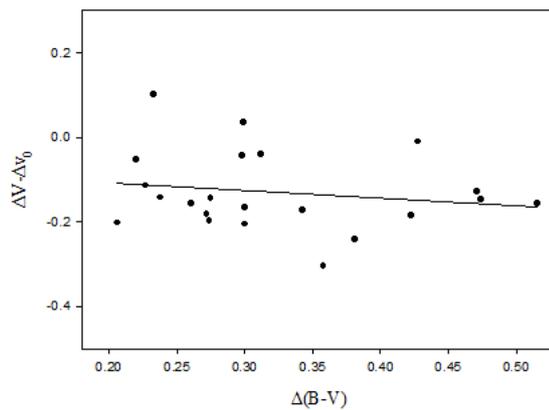


Рис. 3. Зависимость разности величин блеска в системе Джонсона–Кузинса и наблюдаемых дифференциальных величин по отношению к стандарту от дифференциального показателя цвета B–V

4 Заключение

Получены коэффициенты перехода от внеатмосферных величин инструментальной системы телескопа МТМ-500 к величинам системы Джонсона–Кузинса по методу, описанному в работе Харди (1967). Наблюдения нескольких пар звезд разных цветов показали, что вторичные коэффициенты экстинкции могут существенно отличаться в разные ночи наблюдений. Для определения вторичных коэффициентов были выбраны результаты наблюдений пары звезд, наблюдавшихся при наибольшей прозрачности атмосферы. По результатам наблюдений получены коэффициенты $k''_{ub} = -0.05$, $k''_{bv} = -0.03$. Коэффициенты редукции $\alpha = -0.17$, $\beta = 1.05$, $\gamma = 2.2$, $\delta = 0.75$, $\eta = 0.85$ были определены из наблюдений рассеянных скоплений NGC 2168 и NGC 2169.

Литература

- Максутов Д.Д., 1944. Новые катадиоптрические менисковые системы. Государственное издательство оборонной промышленности. [Maksutov D.D., 1944. New catadioptric meniscus systems, Gosudarstvennoe izdatel'stvo oboronnoi promyshlennosti. (In Russ.)]
- Харди Р., 1967. Методы астрономии. М: Мир. [Khardi R., 1967. Astronomy methods, Moscow: Mir. (In Russ.)]
- Kinoshita D., Ohtsuka K., Sekiguchi T., et al., 2007. *Astron. Astrophys.*, vol. 466, no. 3, pp. 1153–1158.
- Zhang H.-H., Liu, Xiao-Wei, et al., 2013. *Res. Astron. Astrophys.*, vol. 13, no. 4, pp. 490–500.