

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 209 – 214

UDC 523.62

A. Serebryanskiy, L. Usoltseva, A. Komarov, I. Reva

Fesenkov Astrophysical Institute, Observatory 23, Almaty, Republic of Kazakhstan
alex@aphi.kz, komarov@aphi.kz, usoltseva@aphi.kz, reva@aphi.kz

THE TRASFORMATION COEFFICIENTS AND INSTANTANEOUS VALUES OF ATMOSPHERIC EXTINCTION

Abstract. We describe the process to determine the transformation coefficients from instrumental photometric system into standard Johnson-Cousines (BVR) photometric system as well as instantaneous values of atmospheric transparency coefficients. These results were obtained for Zeiss-1000 telescope equipped with Apogee Alta U9000D9 CCD camera. The process of PSF photometry using IRAF package is also described and obtained magnitudes and color indexes were compared with catalog values.

Key words: astronomical observations, UBVR photometry, standard stars

УДК 523.62

А. В. Серебрянский, Л. А. Усольцева, А. А. Комаров, И. В. Рева

Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова, Алматы, Казахстан

КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕХОДА И МГНОВЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ АТМОСФЕРНОЙ ЭКСТИНКЦИИ

Аннотация. Дается детальное описание процесса определения переходных коэффициентов из инструментальной фотометрической системы в стандартную фотометрическую систему Джонсона-Коузина (BVR), а также определения мгновенных значений коэффициента атмосферной экстинкции. Результаты получены для телескопа ``Цейсс-1000`` обсерватории Тянь-Шань, оснащенного ПЗС камерой Apogee Alta U9000D9. Описан процесс фотометрии звезд в пакете IRAF методами апертурной и PSF-фотометрии. Дано сравнение полученных значений звездных величин и показателей цвета с каталожными значениями.

Ключевые слова: астрономические наблюдения, UBVR фотометрия, стандартные звезды.

Введение

Одной из основных задач при наблюдениях ГСС является точная оценка его яркости в разных спектральных диапазонах, что позволяет оценить его физические размеры, форму, состав и состояние его поверхности, а также размер солнечных панелей, что позволяет проводить оценку его энергопотребления и, следовательно, делать выводы о его возможном назначении. Вариации блеска ГСС дают нам информацию о динамике объекта, например, о его вращении. Задачей данной работы была отработка методики оценки изменения атмосферной экстинкции в течении одной ночи, а также определение коэффициентов перехода от инструментальной к стандартной фотометрической системе BVR для телескопа ``Цейсс-1000`` обсерватории Тянь-Шань. Методика, применяемая в данной работе, взята из работы по стандартизации АЗТ-22 обсерватории Майданак (Узбекистан) [1].

Внеатмосферное значение звездной величины в инструментальной системе можно записать в виде:

$$m_{0,\lambda} = m_{\lambda} - (k_{1,\lambda} - k_{2,\lambda} \cdot C_0) \cdot X \quad (1)$$

где, λ - центральная длина волны соответствующего фильтра (B, V, R), m_{λ} - видимая звездная величина в данном фильтре, C_0 - показатель цвета в стандартной системе, то есть $(B-V)_0$ или $(V-R)_0$. Тогда значение звездной величины в стандартной системе можно представить в виде:

$$M_{\lambda} = m_{0,\lambda} + \eta_{\lambda} \cdot C_0 + \alpha_{\lambda} \cdot \overline{UT} + \zeta_{\lambda} \quad (2)$$

В этих выражениях зависимость атмосферной экстинкции от воздушной массы предполагается линейной и определяется коэффициентом $k_{1,\lambda}$. Зависимость от показателя цвета также предполагается линейной и определяется коэффициентом $k_{2,\lambda}$. Коэффициент ζ_{λ} определяет постоянную часть нуль-пункта фотометрической системы в данном фильтре. Зависимость изменения нуль-пункта в течение времени наблюдений определяется параметром α_{λ} . Параметр \overline{UT} - временной промежуток относительно некоторого выбранного начального момента времени (обычно берется полночь).

Задачу определения всех коэффициентов и параметров в выражении (2) можно разделить на две подзадачи: 1) определить зависимость нуль-пункта от времени, а также исправить инструментальные звездные величины за атмосферную прозрачность и 2) определить коэффициенты пересчета в стандартную фотометрическую систему. Подставляя (1) в (2), получим:

$$M_{\lambda} = m_{\lambda} - k_{1,\lambda} \cdot X + k_{2,\lambda} \cdot C_0 \cdot X + \eta_{\lambda} \cdot C_0 + \alpha_{\lambda} \cdot \overline{UT} + \zeta_{\lambda} \quad (3)$$

Для оценки всех параметров в выражении (3) необходимо выбрать определенные стандартные площадки и соответствующим образом выстроить процесс наблюдений.

Таблица 1 - Список стандартных площадок и параметры наблюдений

Название площадки	$\alpha_{(J2000)}$	$\delta_{(J2000)}$	Фильтры	Экспозиция в сек. (кол-во кадров)
Galadi 1	00 ^h 00 ^m 00 ^s	+30°22'30"	B,V,R	20(10),20(10),20(10)
Galadi 2	01 ^h 53 ^m 15 ^s	+00°22'30"	B,V,R	40(9),40(9),40(9)
Galadi 3	03 ^h 52 ^m 39 ^s	-00°01'30"	B,V,R	40(3),40(3),40(3)
Galadi 11	22 ^h 41 ^m 42 ^s	+01°13'30"	B,V,R	20(12),20(12),20(12)
GD 2	00 ^h 07 ^m 34 ^s	+33°18'51"	B,V,R	40(9),40(9),40(9)
GD 8	00 ^h 39 ^m 45 ^s	+31°34'46"	B,V,R	40(3),40(3),40(3)
GD 277	01 ^h 29 ^m 27 ^s	+51°08'41"	B,V,R	40(3),40(3),40(3)
GD 391	20 ^h 29 ^m 50 ^s	+39°15'53"	B,V,R	20(3),20(3),20(3)
GD 405	23 ^h 16 ^m 44 ^s	+47°27'08"	B,V,R	40(12),40(12),40,20(12)
GD 421	01 ^h 51 ^m 00 ^s	+67°41'51"	B,V,R	40(9),40(9),20(9)
SA23 SF3	03 ^h 45 ^m 21 ^s	+45°27'28"	B,V,R	40(6),40(6),40(6)
SA 41	21 ^h 53 ^m 52 ^s	+45°25'46"	B,V,R	20(6),20(6),20(6)

Описание наблюдений и анализ данных

Наблюдения проводились на телескопе «Цейсс-1000» Тянь-Шаньской обсерватории. Диаметр главного зеркала $D=1000$ мм, относительное фокусное расстояние $f_{\text{отн}} = 6580$ мм. Телескоп оборудован ПЗС камерой Apogee Alta U9000D9, позволяющая получать поле зрения (FOV) размером $19'.5 \times 19'.5$ с масштабом $0''.38/\text{пиксель}$. Для многоцветной фотометрии используется набор фильтров B, V, R компании «Astrodon». Стандартные площадки наблюдались 23 августа 2016 года. Список площадок и параметры наблюдений приведены в Таблице 1. Данные взяты из работ [2, 3].

Предварительная обработка ПЗС кадров и последующая фотометрия звезд проводилась в пакете IRAF. В процесс этой обработки входит вычитание из каждого изображения темного тока, с последующим делением на откалиброванные значения плоского поля. Следующим шагом является получение оценки наблюдаемой звездной величины каждой стандартной звезды в каждом фильтре и каждом изображении методом апертурной фотометрии. Для этого используются процедура phot из библиотеки noao.digiphot.daophot пакета IRAF. После получения соответствующих апертурных значений наблюдаемых звездных величин строится PSF профиль звезд (PSF – Point Spread Function) с последующей процедурой PSF-фотометрии [4]. Для этого использовались процедуры pstselect, psf, allstar пакета IRAF из библиотеки noao.digiphot.daophot. Поскольку PSF-значения инструментальной звездной величины получены по оценкам ограниченной апертуры на последнем шаге необходимо определить апертурную коррекцию. Данная процедура выполняется также в IRAF процедурами photcal.mkapfile, mkimsets, mkobsfile.

Определение коэффициентов $k_{2,\lambda} \cdot X + \eta_{\lambda}$. Мы начнем с определения цветовых коэффициентов пересчета в стандартную систему $k_{2,\lambda}$ и η_{λ} . Чтобы определить эти коэффициенты, мы

анализируем отдельные стандартные площадки ($term_{2,i,j}$) на Рисунке 1. На площадке должно быть достаточное количество стандартных звезд в как можно более широком диапазоне показателей цвета C_0 .

Перегруппировка членов уравнения (3) дает:

$$M_\lambda - m_\lambda = \underbrace{-k_{1,\lambda} \cdot X + \alpha_\lambda \cdot UT + \zeta_\lambda}_{term\ 1} + \underbrace{(k_{2,\lambda} \cdot X + \eta_\lambda)}_{term\ 2} \cdot C_0 \tag{4}$$



Для отдельно взятой стандартной площадки в определенный момент времени UT можно предположить, что X есть величина постоянная и следовательно постоянной является сумма членов $-k_{1,\lambda} \cdot X + \alpha_\lambda \cdot UT + \zeta_\lambda$ которую мы обозначим как $Const_1$. Следовательно, наше уравнение (4)

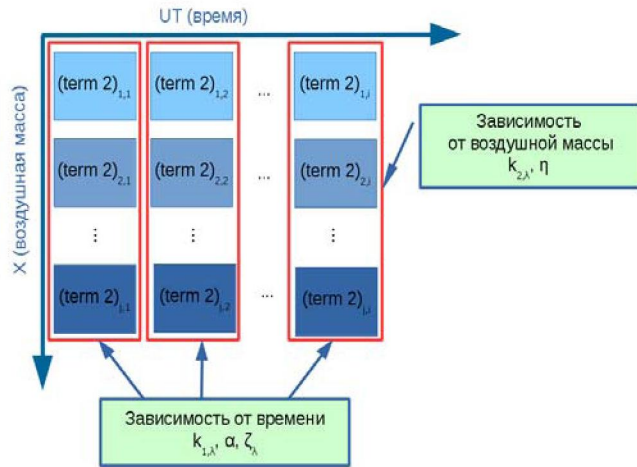


Рисунок 1 - План проведения наблюдений для определения коэффициентов пересчета в стандартную фотометрическую систему и коэффициента атмосферной экстинкции

примет вид:

$$M_\lambda - m_\lambda = (k_{2,\lambda} \cdot X + \eta_\lambda) \cdot C_0 + Const_1 \tag{5}$$

То есть для некоторой i -той стандартной площадки при некотором значении воздушной массы X_i будем иметь

$$y_i(X_i) = A_{1,i}(X_i) \cdot C_0 + Const_{1,i} \tag{6}$$

где $A_{1,i}(X_i) = k_{2,\lambda} \cdot X_i + \eta_\lambda$. Следовательно, строя зависимость $y_i(X_i)$ от C_0 и аппроксимируя ее линейной зависимостью, мы можем определить $A_{1,i}(X_i)$ и $Const_{1,i}$. Пример построения таких зависимостей и линейной аппроксимации показан на Рисунке 2. Отметим, что мы считаем коэффициент $k_{1,\lambda}(UT)$ зависящим от момента наблюдения, то есть меняющимся в течении ночи.

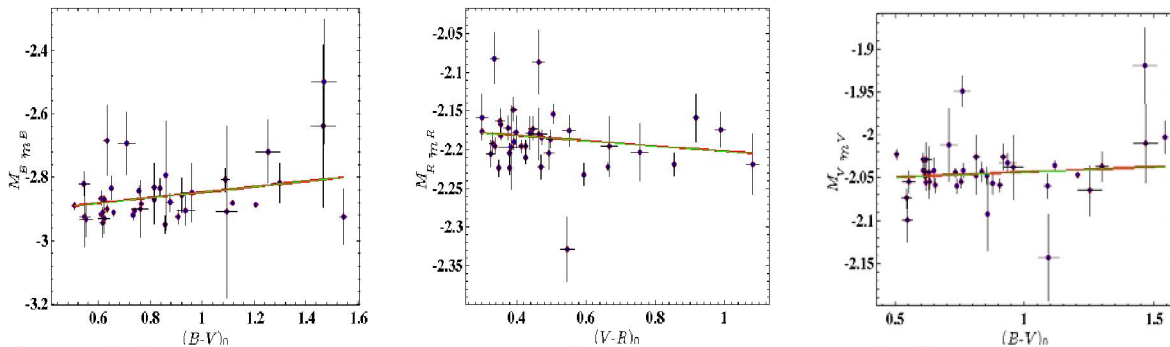


Рисунок 2 - Зависимость разности звездных величин $M_\lambda - m_\lambda$ от показателя цвета C_0 . Красной линией показаны результаты линейной аппроксимации.

Определение коэффициентов $k_{2,\lambda}$ и η_λ

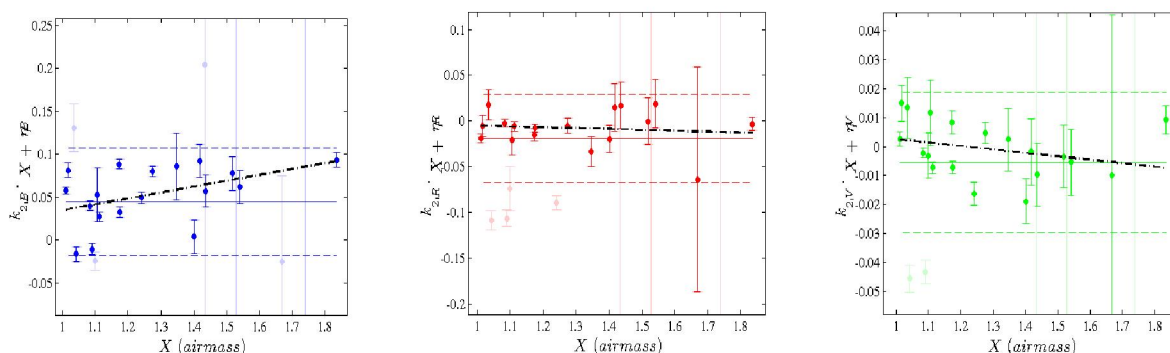


Рисунок 3 - Зависимость $k_{2,\lambda} \cdot X_i + \eta_\lambda$ от воздушной массы X_i в разных фильтрах (слева сверху – фильтр В, справа сверху – фильтр V, внизу – фильтр R).

Если коэффициент $k_{2,\lambda}$ принять постоянным в течение одной ночи, так же как и коэффициент η_λ (что должно достаточно точно выполняться), то исследуя зависимость параметра $A_{1,i}(X_i)$ от X из линейной аппроксимации можно определить в отдельности коэффициенты $k_{2,\lambda}$ и η_λ (см. Рисунок 3). В принципе, из предположения постоянства коэффициента $k_{1,\lambda}$ в течение одной ночи из значений $Const_{1,i}$ и линейной аппроксимации зависимости от воздушной массы X можно определить как само среднее для данной ночи наблюдений значение $k_{1,\lambda}$ так и значение параметра $\alpha_\lambda \cdot \widehat{UT} + \zeta_\lambda$, то есть нуль-пункт фотометрической системы с учетом его изменения в течении ночи.

Полученные значения параметра $k_{1,\lambda}$ и соответствующие ошибки, а также значения параметра $\alpha_\lambda \cdot \widehat{UT} + \zeta_\lambda$ с соответствующей ошибкой можно использовать как первые приближения и как накладываемые ограничения на диапазон их возможных значений для последующего уточнения и определения этих параметров для отдельно взятого момента времени. Полученные нами средние значения таковы: $k_{2,B} = 0.0485 \pm 0.0066$, $\eta_B = -0.00384 \pm 0.0084$, $k_{2,V} = -0.0057 \pm 0.0064$, $\eta_V = 0.0152 \pm 0.0083$, $k_{2,R} = 0.0432 \pm 0.0084$, $\eta_V = -0.0575 \pm 0.0106$. Кроме того, можно оценить усредненные за всю ночь значения коэффициентов экстинкции и нуль-пункта фотометрической системы ζ_λ . Медианные значения, в нашем случае, получились следующими: $\zeta_B = -2.749 \pm 0.0016$, $\zeta_V = -2.175 \pm 0.0008$, $\zeta_R = -2.177 \pm 0.0010$. Значения этих же параметров, полученные из линейной аппроксимации, таковы: $k_{1,B} = 0.244 \pm 0.014$, $\zeta_B = -2.384 \pm 0.017$, $k_{1,V} = 0.022 \pm 0.008$, $\zeta_V = -2.073 \pm 0.010$, $k_{1,R} = 0.139 \pm 0.008$, $\zeta_R = -1.829 \pm 0.010$.

Вычисление коэффициентов $k_{1,\lambda} \cdot X + \alpha_\lambda \cdot \widehat{UT} + \zeta_\lambda$

По результатам первого шага мы оценили значения параметров $k_{2,\lambda}$ и η_λ . После этого мы можем переходить к определению квази-мгновенных значений $k_{1,\lambda}$ и $\alpha_\lambda \cdot \widehat{UT} + \zeta_\lambda$ из следующей зависимости

$$y(X_i) = A_{2,i} + Const_{2,i} \quad (7),$$

где

$$y(X_i) = M_\lambda - m_\lambda - (k_{2,\lambda} \cdot X + \eta_\lambda) \cdot C_0 \quad (8),$$

и

$$Const_{2,i} = \alpha_\lambda \cdot \widehat{UT} + \zeta_\lambda \quad (9)$$

Здесь под термином «квази-мгновенность» мы подразумеваем то факт, что несколько стандартных площадок на разных воздушных массах сняты в разных фильтрах почти в одно и тоже время. На практике с одним инструментом это осуществить довольно сложно. Во-первых, время экспозиции в каждом фильтре конечно. Во-вторых, обычно необходимо снимать по несколько кадров в каждом фильтре, для уменьшения вкладов различных случайных шумов. В-третьих, для наведения телескопа с одной площадки на другую тоже затрачивается определенное время. Фактически, учитывая все перечисленные факторы «квази-мгновенность» подразумевает определение значения экстинкции в течении приблизительно одного часа.

Таблица 2 - Значения параметра $k_{1,\lambda}$ в разные моменты времени наблюдения в течении одной ночи

Время (JD-2400000)	$k_{1,B}$	$\sigma_{k_{1,B}}$	$k_{1,V}$	$\sigma_{k_{1,V}}$	$k_{1,R}$	$\sigma_{k_{1,R}}$
57624.18632	1.352	0.015	1.373	0.009	1.540	0.009
57624.25082	0.622	0.023	0.740	0.015	0.930	0.016
57624.30702	0.283	0.025	0.371	0.017	0.519	0.018
57624.36522	0.226	0.021	0.149	0.015	0.197	0.018
57624.41764	0.227	0.013	0.084	0.010	0.000	0.011

Таблица 3 - Значения параметра $Const_{2,i} = \alpha_\lambda \cdot \bar{UT} + \zeta_\lambda$ в разные моменты времени наблюдения в течение одной ночи

Время (JD-2400000)	$Const_{2,B}$	$\sigma_{Const_{2,B}}$	$Const_{2,V}$	$\sigma_{Const_{2,V}}$	$Const_{2,R}$	$\sigma_{Const_{2,R}}$
57624.18632	1.297	0.020	1.723	0.012	1.871	0.012
57624.25082	0.484	0.032	1.007	0.021	1.175	0.022
57624.30702	0.094	0.034	0.554	0.023	0.651	0.025
57624.36522	-0.001	0.030	0.231	0.021	0.170	0.023
57624.41764	0.0004	0.021	0.063	0.015	-0.212	0.017

Результаты определения коэффициента $k_{1,\lambda}$ и $\alpha_\lambda \cdot \bar{UT} + \zeta_\lambda$ для разных моментов времени наблюдений показаны в Таблице 2 и Таблице 3, соответственно. Пример аппроксимации линейной зависимости $k_{1,\lambda} \cdot X + \alpha_\lambda \cdot \bar{UT} + \zeta_\lambda$ от воздушной массы показан на Рисунке 4.

Сравнение с каталогом

После того, как мы определили коэффициент экстинкции $k_{1,\lambda}$ и нуль-пункта фотометрической системы с коэффициентом его изменения в течение ночи $\alpha_\lambda \cdot \bar{UT} + \zeta_\lambda$, мы можем использовать эти значения для расчетов значений M_λ для их с каталожными значениями. Результаты сравнений показаны на Рисунке 5.

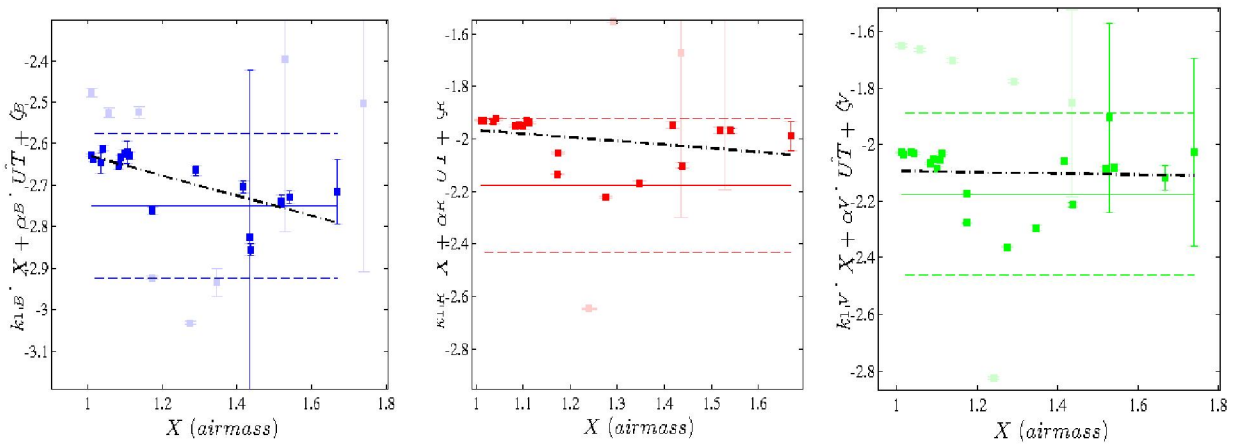


Рисунок 4 - Зависимости $k_{1,\lambda} \cdot X + \alpha_\lambda \cdot \bar{UT} + \zeta_\lambda$ от воздушной массы X. Красным цветом показана зависимость для фильтра R, зеленым для фильтра V и синим для фильтра B. Пунктирными линиями того же цвета показаны диапазоны 3σ отклонений от среднего (показаны сплошной линией соответствующего цвета). Черной пунктирной линией показаны результаты линейной аппроксимации

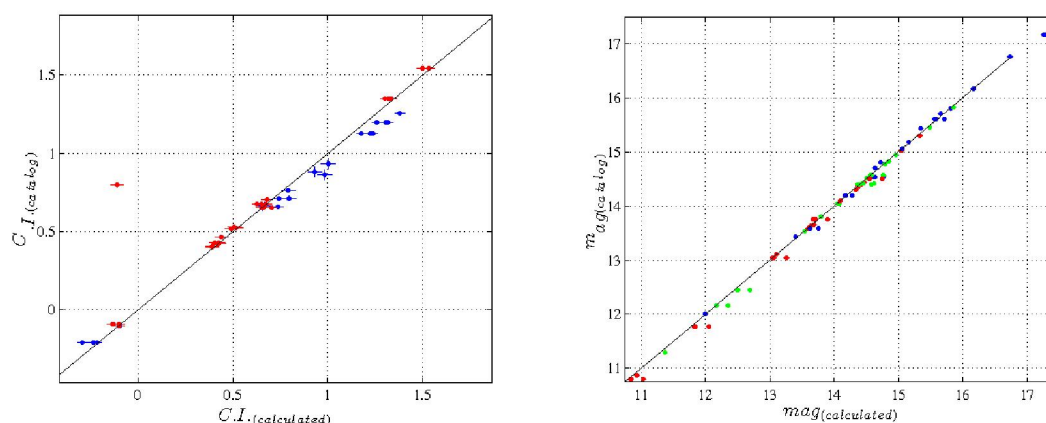


Рисунок 5 - Слева: зависимость вычисленных значений звездных величин M_v , обозначенные как $mag_{calculated}$ от каталожных значений звездных величин $mag_{catalog}$ (значение цветов: красный-фильтр R, синий-фильтр B, зеленый-фильтр V). Справа: зависимость вычисленных значений показателя цвета $C.I._{calculated}$ от каталожный значений показателя цвета $C.I._{catalog}$ (значение цветов: красный - (V-R), синий - (B-V)).

Работа проделана в рамках проектов №0073-1/ПЦФ-15-МОН и №0069/ГФ4 Республики Казахстан.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Lim, B., Sung, H., Bessell, M. S., Karimov, R. Irahimov, M. CCD Photometry of Standard Stars at Maidanak Astronomical Observatory in Uzbekstan: Transformations and Comparisons // Journal of Korean Astronomical Society 2009. - V.42. - pp.161-174 <http://adsabs.harvard.edu/abs/2009JKAS...42..161L>
- [2] Landolt, A. U. UBVRI Photometric Standard Stars around the Sky at +50 deg Declination // The Astronomical Journal 2013. - V.146. - p.131 <http://adsabs.harvard.edu/abs/2013AJ...146..131L>
- [3] Landolt, A. U. UBVRI Photometric Standard Stars Around the Celestial Equator: Updates and Additions // The Astronomical Journal 2009. - V.137. - pp.4186-4269 <http://adsabs.harvard.edu/abs/2009AJ...137.4186L>
- [4] Stetson P.B. DAOPHOT – A computer program for crowded-field stellar photometry // Astronomical Society of the Pacific 1987. – V. 99. – pp.191-222

REFERENCES

- [1] Lim, B., Sung, H., Bessell, M. S., Karimov, R. Irahimov, M. CCD Photometry of Standard Stars at Maidanak Astronomical Observatory in Uzbekstan: Transformations and Comparisons // Journal of Korean Astronomical Society 2009, V.42, pp. 161-174 <http://adsabs.harvard.edu/abs/2009JKAS...42..161L>
- [2] Landolt, A. U. UBVRI Photometric Standard Stars around the Sky at +50 deg Declination // The Astronomical Journal 2013, V.146, p.131 <http://adsabs.harvard.edu/abs/2013AJ...146..131L>
- [3] Landolt, A. U. UBVRI Photometric Standard Stars Around the Celestial Equator: Updates and Additions // The Astronomical Journal 2009, V.137, p.p. 4186-4269 <http://adsabs.harvard.edu/abs/2009AJ...137.4186L>
- [4] Stetson P.B. DAOPHOT – A computer program for crowded-field stellar photometry // Astronomical Society of the Pacific 1987. – v. 99. – pp.191-222 <http://adsabs.harvard.edu/abs/1987PASP...99..191S>

ӨОЖ: 523.62

А.В. Серебрянский, Л.А. Усольцева, А.А. Комаров, И.В. Рева

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизикалық институты, Алматы қ., Қазақстан

АТМОСФЕРАЛЫҚ ЭКСТИНКЦИЯНЫҢ ЛЕЗДІК МӘНДЕРІ ЖӘНЕ АУЫСУЫ КОЭФФИЦИЕНТТЕРІ

Аннотация. Бұл аспаптық фотометриялық жүйесінің стандартты фотометриялық Джонсон-Коузина жүйесіне ауыстыру (БВР) коэффициенттерін анықтау процесінің толық сипаттамасын және атмосфералық экстинкцияның лездік мәндерін анықталады. Тянь-Шань обсерватория телескопы “Zeiss-1000” үшін алынған нәтижелер, ол CCD Argee Alta U9000D9 камерасымен жабдықталған. IRAF пакеттің апертура мен PSF-фотометрия әдісімен жұлдызды фотометрия процесін сипаттайды. Жұлдыздық шамаларды салыстыру каталогы мәндері мен түс көрсеткіштері алынған.

Тірек сөздер: астрономиялық бақылау, UBVRI фотометрия, стандартты жұлдыздар.