



ISSN 1607–2855

Том 10 • № 2 • 2014 С. 152 – 156

УДК 520.8.07+520.823

Визначення фотометричної системи на основі спостережень розсіяних кулястих скупчень NGC 7243, NGC 7762 та IC 5146

А.О. Сімон, В.М. Решетник

Кафедра астрономії та фізики космосу Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Проведені дослідження фотометричної системи телескопа АЗТ-8 спостережної станції Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Отримані результати доводять можливість використання отриманого на станції матеріалу для відносної фотометрії астрономічних об'єктів з точністю не гіршою за $0,01^m - 0,02^m$. Під час дослідження були виявлені потенційно змінні зорі.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ НАБЛЮДЕНИЙ РАССЕЙНЫХ СКОПЛЕНИЙ NGC 7243, NGC 7762 И IC 5146, Симон А.А., Решетник В.Н. — Проведены исследования фотометрической системы телескопа АЗТ-8 наблюдательной станции Киевского национального университета имени Тараса Шевченка. Полученные результаты доказывают возможность использования полученного на станции материала для относительной фотометрии астрономических объектов с точностью не хуже $0,01^m - 0,02^m$. Во время исследований были обнаружены потенциально переменные звезды.

DETERMINATION OF THE PHOTOMETRICAL SYSTEM ON THE BASE OF DATA OBTAINED FROM OBSERVATIONS OF THE OPEN CLUSTERS NGC 7243, NGC 7762 AND IC 5146, by Simon A.O., Reshetnyk V.M. — We produce investigation of the photometrical system on the AZT-8 telescope situated on observational station of the Taras Shevchenko National University of Kyiv. Our results prove the possibility to obtain data and use it for differential photometry of the astronomical bodies with the error not more than $0,01^m - 0,02^m$. During our study probably we have found some variable stars.

Ключевые слова: астротометрия; фотометрическая система; наблюдения.

Key words: astrophotometry; photometrical system; observations.

1. ВСТУП

Питання знаходження зв'язку між різними фотометричними системами неодноразово висвітлювалося в наукових публікаціях [4, 5, 7]. Причому дуже часто виникала необхідність знаходження зв'язку між двома або навіть декількома різними фотометричними системами. Так виникала необхідність пов'язати між собою фотометричну систему Слоанівсько Цифрового Огляду Неба (Sloan Digital Sky Survey (SDSS)) з фотометричними системами 2MASS та Джонсона–Коузінна [3], фотографічний варіант Вільнюської системи та системи Джонсона–Моргана UBV [8] та деякі інші.

На початку 2000-х років з'явилася можливість проводити фотометричні дослідження з непоганою точністю (порівняно з фотографічною фотометрією) за допомогою ПЗЗ-камер в стандартній системі Джонсона–Моргана (UBV) на телескопі АЗТ-8 спостережної станції КНУ імені Тараса Шевченка в с. Лісники. Будь-яка спостережна система, що включає до свого складу телескоп, ПЗЗ-приймач та набір фільтрів є унікальною. Проте всі дані, що були чи ще будуть отримані за допомогою цієї унікальної системи мають бути приведені до стандартних (загальноприйнятих) фотометричних систем. Саме з цією метою нами була виконана фотометрія трьох різних розсіяних скупчень, що містять у своєму складі фотометричні стандарти [1]. На даному етапі роботи ми досліджували відповідність отриманих нами даних в UBV фільтрах по відношенню до стандартної фотометричної системи. Згодом, фотометрична система була розширена в інфрачервоний діапазон за допомогою фільтрів R та I.

2. ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ

Всі спостереження, представлені в роботі, проводилися на спостережній станції Лісники КАО КНУ ім. Т.Шевченка за допомогою телескопа АЗТ-8 ($D = 70$ см, $F = 2,8$ м), в головному фокусі параболічного дзеркала якого встановлена камера ST-8XMEI. В камері використаний ПЗЗ приймач KAF 1603 ME розміром світлочутливої поверхні $13,8 \times 9,2$ мм. ПЗЗ-приймач має 1530×1020 пікселів, розмір одного пікселя 9×9 мікрон. Поле зору телескопа при цьому складає приблизно $17' \times 11'$ кутових мінут, масштаб камери — $0,65''/\text{піксель}$.

3. ТЕОРЕТИЧНЕ ПІДҐРУНТЯ РОБОТИ

Для знаходження зв'язку між інструментальною та стандартною фотометричними системами були використані наступні рівняння

$$\begin{cases} V = \alpha + \beta v + C_v(b - v), \\ B - V = \gamma + C_{bv}(b - v), \\ V - R = \delta + C_{vr}(v - r). \end{cases} \quad (1)$$

В цій системі великі літери відповідають стандартним значенням, які взяті з каталогів, маленькі — інструментальні. Коефіцієнти α , γ та δ відповідають за зміщення нуля-пункту кожного кольору, β — відповідальний за поправку шкали або коефіцієнт рівняння яскравості, коефіцієнти C є коефіцієнтами кольорного рівняння [2]. Саме визначенню цих коефіцієнтів і присвячена дана робота.

Дана система рівнянь складається для певної кількості зір і розв'язується за допомогою методу найменших квадратів.

Проте отримані коефіцієнти не можна вживати для переходу до стандартної системи для всіх спостережень, адже вони містять ще не враховану поправку за екстинкцію, яка зміщує нуля-пункт. З врахуванням екстинкції в рівняння вводимо поправки, які залежать від повітряної маси $M(z)$ та коефіцієнтів прозорості атмосфери k_v , k_{bv} , k_{vr} . Система (1) набуває наступного вигляду:

$$\begin{cases} V = \alpha_0 - \beta k_v M(z) - C_v k_{bv} M(z) + \beta v + C_v(b - v), \\ B - V = \gamma_0 - C_{bv} k_{bv} M(z) + C_{bv}(b - v), \\ V - R = \delta_0 - C_{vr} k_{vr} M(z) + C_{vr}(v - r). \end{cases} \quad (2)$$

Коефіцієнти в системах рівнянь (1) та (2) узгоджуються наступним чином:

$$\begin{cases} \alpha = \alpha_0 + \beta k_v M_v(z) - C_v k_{bv} M_{bv}(z), \\ \gamma = \gamma_0 - C_{bv} k_{bv} M_{bv}(z), \\ \delta = \delta_0 - C_{vr} k_{vr} M_{vr}(z). \end{cases} \quad (3)$$

Системи (2) та (3) мають місце у випадку, коли зображення в B та V смугах отримані майже одночасно, тобто можна знехтувати зміною повітряної маси впродовж спостережень. В іншому випадку варто зробити заміну:

$$C_{xy(x)} k_{xy} M_{xy}(z) = C_{xy(x)} (k_x M_x(z) - k_y M_y(z)) \quad (4)$$

В якості першого наближення знехтуємо зміною повітряної маси і тому перехід (4) використовувати не будемо. Для знаходження коефіцієнтів екстинкції необхідно взяти різницю двох рівнянь одного з виразів системи (3). Після перетворень отримаємо вираз:

$$\begin{cases} k_v = \frac{C_v}{C_{bv}} \frac{(\gamma_1 - \gamma_2) - (\alpha_1 - \alpha_2)}{\beta(M(z_1) - M(z_2))} \approx \frac{-(\alpha_1 - \alpha_2)}{\beta(M(z_1) - M(z_2))}, \\ k_{bv} = \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{C_{bv}(M(z_1) - M(z_2))}, \\ k_{vr} = \frac{\delta_1 - \delta_2}{C_{vr}(M(z_1) - M(z_2))}. \end{cases} \quad (5)$$

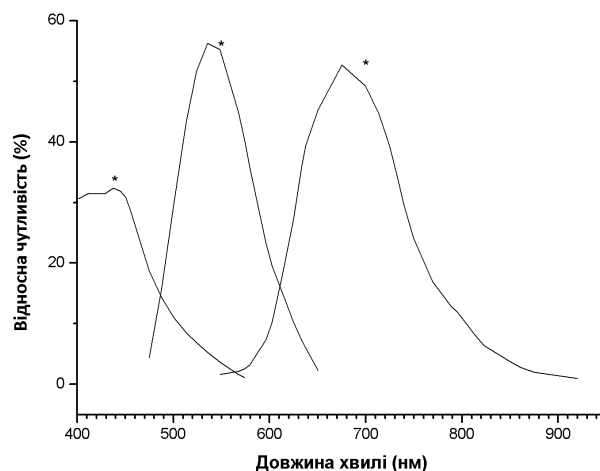


Рис. 1. Криві реакції нашої фотометричної системи (згортка функцій пропускання відповідних фільтрів зі спектральною чутливістю матриці). Зірочками позначені місця, де мають бути максимуми кривих пропускання стандартної системи.

4. ЗАГАЛЬНА СХЕМА ЗНАХОДЖЕННЯ ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ФОТОМЕТРИЧНИМИ СИСТЕМАМИ

Для визначення зв'язку між інструментальною та стандартною фотометричними системами послідовно були отримані знімки зоряних скупчень NGC 7243, NGC 7762 та IC 5146. Зоряні величини UBV наведені в [1], далі — КЗТ (за першими літерами авторів). Для обраних скупчень були отримані серії зображень в трьох фільтрах *bvg* з різними експозиціями для кожного фільтра. Із якісних знімків таких серій створювалося сумарне зображення: для кожного пікселя інтенсивність обчислювалася як сума інтенсивностей відповідного пікселя у відібраних кадрах. Потім для кожної зорі зі списку стандартів було отримане значення сумарної інтенсивності всіх пікселів в межах заданої діафрагми, враховуючи значення фону неба поблизу зображення зорі. Значення інтенсивностей в усіх фільтрах заносилися до таблиці. Далі знаходилися інструментальні зоряні величини, нормовані до одnoseкундної експозиції (враховувалася експозиція, помножена на кількість кадрів, з яких було отримане сумарне зображення).

$$m_{\text{instr}} = -2,5 \lg \left(\frac{I_{\text{sum}}}{t_{\text{exp}}} \right). \quad (6)$$

На жаль, динамічний діапазон камери обмежений, і яскравіші зорі при довших експозиціях давали сигнал, який виходив за межі лінійності. Частина яскравих зір при тривалих експозиціях потрапляла в область «пересвітки». Рядки з такими зорями виключалися з таблиці і в подальших обрахунках участі не брали. Залежність величини сигналу від часу експозиції для зір з різними зоряними величинами наведено на рис. 2.

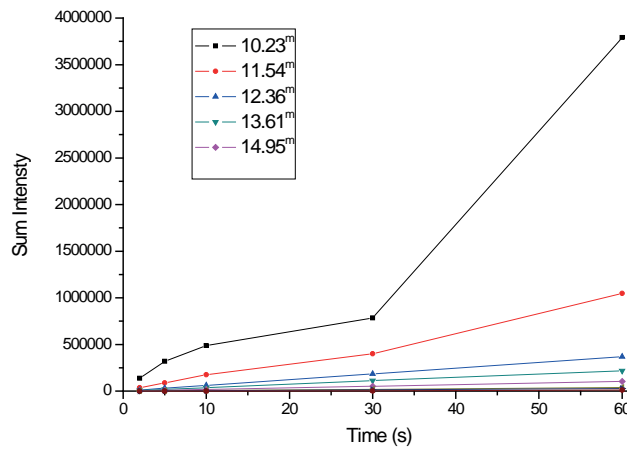


Рис. 2. Залежність величини сигналу від часу експозиції. В таблиці на малюнку наведено значення зоряної величини зір, для яких побудовані дані залежності.

Після побудови графіку залежності зоряної величини КЗТ від інструментальної зоряної величини, були виявлені зорі із значним відхиленням від лінійної залежності. Для перевірки даних КЗТ та з метою побудови фотометричної системи в фільтрі *R* було підбрано каталог, що містив дані про зоряні величини для всієї вибірки в смугах *B*, *V*, *R*, а саме — NOMAD [9]. Незважаючи на те, що NOMAD не відзначається високою фотометричною точністю, його використання було необхідне за відсутності альтернатив. В подальшому каталог NOMAD використовувався як контрольний для смуг *B*, *V* і як основний для смуги *R*. Також ми провели порівняння даних з каталогів КЗТ та NOMAD. Більшість зір не мали суттєвих відмінностей між каталогами, проте для кількох з них різниці були суттєвими. Графіки порівняння двох каталогів в фотометричних смугах *B* та *V* подано нижче.

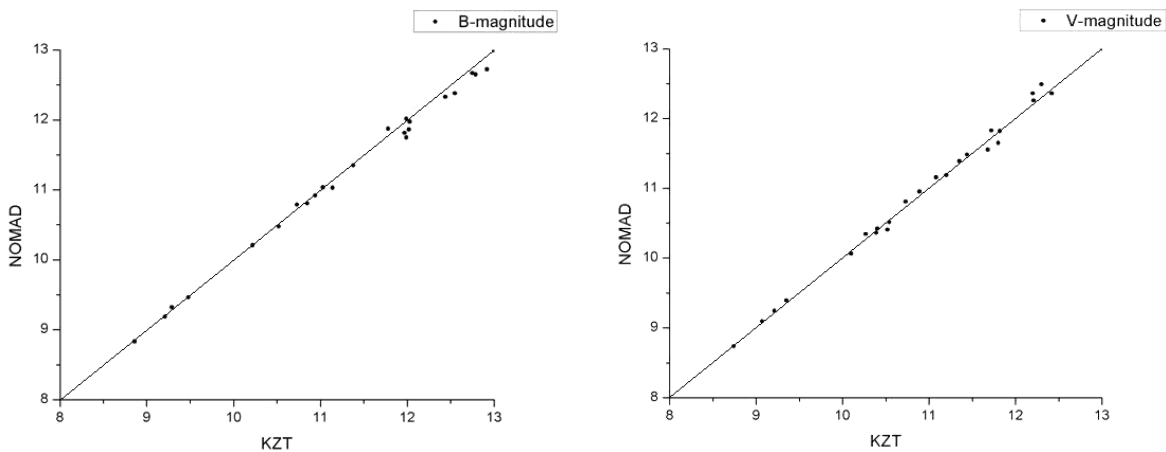


Рис. 3. Порівняння зоряних величин з Каталогів КЗТ та NOMAD

Порівнюючи зоряні величини для «випадаючих» зір з обох каталогів, було з'ясовано, що можна встановити, які із значень варто піддати сумніву чи ретельніше проаналізувати: які дані неточні — наші чи КЗТ. Якщо NOMAD «підтримував» наші значення, то це могло означати лише дві речі: або трапилася помилка при складанні КЗТ, або «випадаючі» зорі можна запідозрити у змінності на проміжках часу порядку десятків років. На користь другого може говорити розбіжність в усіх фільтрах та довіра до даних каталогу КЗТ. Саме на такі зорі буде звертатися увага при подальших фотометричних дослідженнях.

Крім того, графік залежності зоряних величин за каталогом NOMAD та інструментальних виявив ще декілька зірок із значними розбіжностями в зоряних величин в усіх фільтрах. Для коректного знаходження коефіцієнтів переходу всі ці зорі були виключені із розрахунків.

5. РЕЗУЛЬТАТИ ОБЧИСЛЕНЬ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Для кожного зоряного скупчення було отримано кілька серій зображень: по 10 шт. в кожному фільтрі з експозиціями від 2 до 60 секунд в залежності від фільтру. В наших дослідженнях було використано 61 зорю, за допомогою яких було створено більше 130 рядків з даними для обрахунків. До цих даних не потрапили данні від зір, отримані зоряні величини яких сильно відрізнялися від каталожних, та від зір, що виявилися пересвіченими на зображеннях.

Коефіцієнти розраховувалися для кожної серії кожного зоряного скупчення окремо, після чого знаходилися усереднені значення для кожного скупчення. Після цього нами було знайдене середнє значення всіх коефіцієнтів. В результаті ми змогли записати систему рівнянь (1) в наступному вигляді:

$$\begin{cases} V = 21,143 + 0,994v + 0,075(b - v), \\ B - V = -0,121 + 1,032(b - v), \\ V - R = 0,020 + 0,810(v - r). \end{cases} \quad (7)$$

І для відносної фотометрії, коли зоряні величини одного з об'єктів відомі, дана система набуде наступного вигляду.

$$\begin{cases} V_1 - V_2 = 0,994(v_1 - v_2) + 0,075[(b_1 - v_1) - (b_2 - v_2)], \\ (B_1 - V_1) - (B_2 - V_2) = 1,032[(b_1 - v_1) - (b_2 - v_2)], \\ (V_1 - R_1) - (V_2 - R_2) = 0,810[(v_1 - r_1) - (v_2 - r_2)]. \end{cases} \quad (8)$$

З теоретичних міркувань випливає, що сталими мають бути всі коефіцієнти, окрім тих, які відповідають за зміщення нуль-пунктів і саме вони мають залежати від повітряної маси (зенітної відстані). Проте, за нашими даними сталим можна вважати лише коефіцієнт β . Залежність від зенітної відстані прослідковується для коефіцієнтів γ та C_v , в той час як для коефіцієнтів α та C_{bv} подібної залежності від зенітної відстані не спостерігається. Коефіцієнти δ та C_{vr} , на жаль, проаналізувати неможливо в зв'язку з неоднорідністю вибірки стандартних зір та відсутністю коефіцієнтів для всіх скупчень.

Використовуючи факт залежності коефіцієнтів α , γ та δ від повітряної маси та оперуючи системами рівнянь (3) та (5), ми зробили спробу оцінити коефіцієнти екстинкції. Отриманий результат наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Визначення коефіцієнтів екстинкції

N	α	γ	δ	$M(z)$	k_{bv}	k_v	k_{vr}	α_0
1 (NGC 7243)	21,124	-0,174	0,040	1,001	2,1	2,9	0,9	18,238
2 (NGC 7762)	21,282	-0,312	0,000	1,055				18,241
3 (IC 5146)	21,165	-0,195		1,002		2,2		

На жаль, отримані нами коефіцієнти екстинкції k_{bv} , k_v та k_{vr} мають дещо завищені значення, порівняно із значеннями, отриманими в роботі [6]. Такий результат може бути наслідком використання даних, отриманих для скупчень з невеликою різницею повітряної маси.

6. ВИСНОВКИ

Побудована нами фотометрична система дозволяє використовувати її для відносної фотометрії джерел, причому точність досліджень, виконаних на наших телескопах, може досягти $0,01^m - 0,02^m$. Під час фотометрії обраних нами скупчень були виділені декілька зір із підозрою цих об'єктів у змінності, подальші дослідження яких зможуть спростувати або підтвердити наші передбачення.

1. *Казанасмас М.С., Завершнева Л.А., Томак Л.Ф.* Атлас и каталог звёздных величин фотометрических стандартов. — К: Наукова думка, 1981. — 220 с.
2. *Методы астрономии* (ред. В.А.Хилтнер). — М.: Мир, 1967. — 536 с.
3. *Davenport J.R.A., West A.A., Matthiesen C.K., et al.* Sloan/Johnson-Cousins/2MASS Color Transformations for Cool Stars // The Publications of the Astronomical Society of the Pacific. — 2006. — **118**, Issue 850. — P.1679.
4. *Harmanec P., Bozic H.* Useful transformations between photometric systems // Astronomy and Astrophysics. — 2001. — **369**. — P.1140.

5. *Pavlovski K.* Simulated numerical transformation between similar wide band photometric systems // Hvar Observatory Bulletin. — 1981. — **5**, Issue 1. — P.1.
6. *Rieznik K., Reshetnik V.M.* Astroclimate parameters of the Kyiv observatories // Advances in Astronomy and Space Physics. — 2012. — **2**. — P.203.
7. *Straizys V.* Transformations between Photometric Systems // Astronomy and Astrophysics. — 1973. — **28**. — P.349.
8. *Straizys V.* On transformation of stellar magnitudes from UBV system to the photographic version of the Vilnius photometric system // Vilnius Astronomijos Observatorijos Biuletenis. — 1983. — **62**. — P.11.
9. *Zacharias N., Monet D.G., Levine S.E., et al.* // BAAS. — 2004. — **36**. — P.1418.

Надійшла до редакції 8.12.2014