

ПЗЗ-ФОТОМЕТРІЯ В *UBVR*-СИСТЕМІ В ДІЛЯНЦІ СКУПЧЕННЯ NGC 6913

В. Андрук¹, Г. Бутенко², Л. Свачій¹

¹Головна Астрономічна Обсерваторія НАН України
вул. Заболотного, 27, Київ, UA-03680, Україна

²Міжнародний центр астрономічних та медико-екологічних досліджень НАН України,
вул. Заболотного, 31, Київ, UA-03680, Україна

(Отримано 19 грудня 2006 р.)

На 2-м телескопі (пік Терскол, Північний Кавказ, Росія) виконано ПЗЗ-спостереження в *UBVR*-системі Джонсона ділянки неба в скупченні NGC 6913. Для поля $7' \times 5'$ обчислено величини та координати зірок до $V = 22^m$. Визначена інструментальна фотометрична система стосовно системи *UBVR* Джонсона. За даними спостережень для скупчення NGC 6913 встановлено модуль відстані $V - M_V = 13.8^m$, а також почервоніння $E(U - B)/E(B - V) = 0.7/0.9$. Коротко описано метод обробки ПЗЗ-кадрів, який реалізовано в пакеті LINUX/MIDAS/ROMAFOT на базі нового способу виключення плоского поля. При експозиції 300 с середня квадратична похибка одного визначення зоряної величини для зір до $V = 20^m$ становить $\pm 0.02^m - 0.03^m$.

Ключові слова: розсіяні зоряні скупчення, *UBVR*-фотометрія, модуль відстані.

PACS number(s): 95.75.Mn, 95.85.Kr, 97.10.Zr, 98.20.Di

I. ВСТУП

У межах виконання роботи з вивчення фотометричної системи реєструвальної апаратури 2-м телескопа на піку Терскол отримано каталог *U*-, *B*-, *V*-, *R*-величин та положень 146 зірок до $V = 22^m$ для поля розміром $7' \times 5'$ в ділянці молодого розсіяного скупчення NGC 6913 [1]. Досліджувана ділянка займає праву верхню частину скупчення, радіус якого разом із короною становить $32'$, а наявність сильної концентрації зірок відзначено до відстані $5'$ від центру скупчення [2]. Відстань між центрами наших ПЗЗ-кадрів і центром скупчення становить $4'$. Міжзоряне середовище в напрямку на скупчення характеризується значним і нерівномірним поглинанням [3], і, як відзначають автори цієї роботи, відстань до скупчення, за оцінками різних дослідників, коливається від 0.8 кпс до 2.8 кпс.

II. СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Спостереження в смугах *UBVR*-системі Джонсона виконано 26 серпня 1998 р. у фокусі Касегрена 2-м телескопа ($D/F = 1/8$) на піку Терскол ($\lambda = 2^h 49^m 59.854^s$, $\varphi = 43^\circ 16' 34.72''$). Приймачами були дві ПЗЗ-камери PHOTOMETRICS, які вмонтовано в систему двоканального фокального редуктора [4]. ПЗЗ-камери охолоджуються рідким азотом. Розмір робочого поля матриць: для синього каналу — 512×512 пкл, для червоного каналу — 586×385 пкл; масштаб: 1 пкл = $1.0034'' \pm 0.0003''$ (смуга *B*), 1 пкл = $0.8215'' \pm 0.0003''$ (смуга *V*). Смуга *U* реалізована з фільтром DUG11 ($\lambda = 338$ nm, $t_{\max} = 0.832$, FWHM = 75 nm), смуга *B* — з фільтрами BB ($\lambda = 431$ nm, $\tau_{\max} = 0.946$, FWHM = 95 nm) + BG39/2 ($\lambda = 472$ nm, $\tau_{\max} = 0.928$, FWHM = 235 nm), смуга *V* — з фільтром

V ($\lambda = 531$ nm, $\tau_{\max} = 0.920$, FWHM = 102 nm), смуга *R* — з фільтром GUNN *R* ($\lambda = 680$ nm, $\tau_{\max} = 0.948$, FWHM = 111 nm). ПЗЗ-кадри для досліджуваної ділянки неба в скупченні NGC 6913 отримано у вузькому інтервалі повітряних мас $X = 1.004 \div 1.019$ з експозиціями від 10 до 600 секунд (усього 15 кадрів).

III. ОБРОБКА СПОСТЕРЕЖЕНЬ

ПЗЗ-кадри оброблено в програмному пакеті MIDAS/ROMAFOT [5] за методом, описаним у праці [6]. Особливістю методу є виділення просторової огинаючої плоского поля з кадру зображення зоряного поля програмними засобами MIDAS. Такий підхід обробки ПЗЗ-кадрів дає змогу компенсувати не тільки фотометричну похибку поля, яка виникає як результат віньєтування оптикою та нерівномірністю чутливості робочого поля матриці, а й фотометричні відхилення внаслідок додаткових підсвіток космічної та наземної природи. Програмні засоби ROMAFOT дозволили отримати такі дані про зареєстровані об'єкти на ПЗЗ-кадрах: прямокутні координати *X* та *Y* в системі координат матриці, фотометричні величини в інструментальній системі, значення інтенсивності в центрі та ширину на половині максимальної інтенсивності (FWHM) для двовимірного гауссового розподілу інтенсивності зображення зірки. Внутрішня точність одного визначення координат для об'єктів, яскравіших від гранично зареєстрованих на 2.5^m , становила $0.03 - 0.04''$; точність фотометрії для цих же зірок є в межах $0.02 - 0.03^m$. Унаслідок обробки 15 ПЗЗ-кадрів отримано каталог *U*-, *B*-, *V*-, *R*-величин та положень 146 зірок до $V = 22^m$ для поля розміром $7' \times 5'$ в ділянці скупчення NGC 6913. Карта неба для досліджуваної в цій роботі частини скупчення зображена на рис. 1.

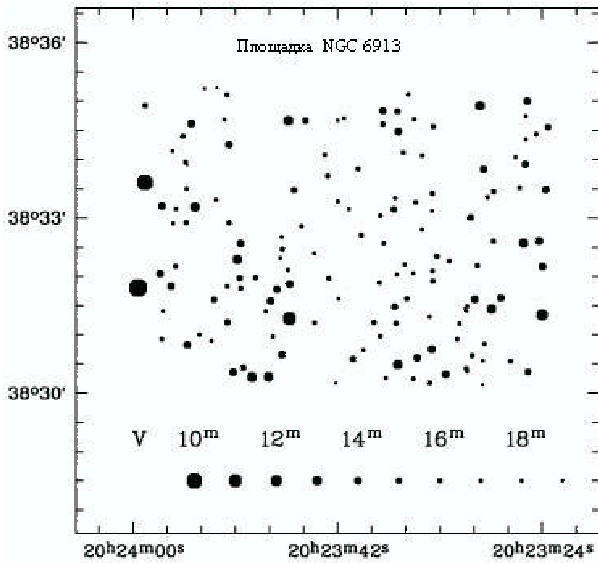


Рис. 1. Карта ділянки неба в скупченні NGC 6913 (сму- га V). Розмір поля — 7'×5'.

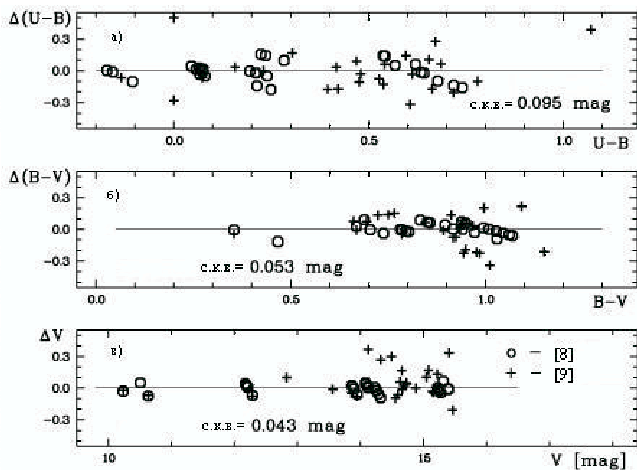


Рис. 2. Різниця значень $U-B$, $B-V$, V , отриманих у цій роботі, та значень роботи [9] (круги) і роботи [12] (хрестики). По осі абсцис — дані роботи [9].

Фотометрична система одержаного каталогу щодо шкали зоряних величин системи Джонсона встановлена за дев'ятьма спільними зірками з каталогу [7]. Каталог [7] включає фотоелектричні величини зірок у системі UBV ; для скупчення NGC 6913 фотоелектричні виміри виконано в роботі [8]. Точність редуції інструментальних даних у систему UBV для величин $U-B$, $B-V$, V становить $\pm 0.095^m$, $\pm 0.053^m$, $\pm 0.043^m$ відповідно. Докладніше дослідження лінійності шкали зоряних величин та процедуру переходу від інструментальної системи до системи UBV Джонсона описано в праці [1]. Отримані в цій роботі значення величин $U-B$, $B-V$, V були порівняні з аналогічними даними інших авторів. На рис. 2 показано різниця цих значень стосовно фотоелектричних стандартів [8]

(круги) та ПЗЗ-даних роботи [9] (хрестики). Помітно розходження наших значень $U-B$, $B-V$, V з даними праці [9]. У роботі [10] також показано, що шкала [9] не відповідає шкалі фотоелектричних стандартів [8]. Очевидно, редуція в роботі [9] виконана без урахування колор-індексів стандартних зірок. Оскільки при редуції інструментальних значень у систему фотоелектричних стандартів ми враховували колір зірок, дослідили лінійність шкали отриманих величин зірок і наші редуційні значення добре узгоджуються з фотоелектричними стандартами, то нашу шкалу зоряних величин продовжено в ділянку слабких зірок до $V = 22^m$.

IV. МОДУЛЬ ВІДСТАНИ СКУПЧЕННЯ NGC 6913

Як відзначають автори праці [3], відстань до скупчення, за оцінками різних дослідників, коливається від 0.8 кпс до 2.8 кпс. Наші пошуки інформації про скупчення NGC 6913 в INTERNET дали такі результати:

1. Автор праці [2] за вісьма членами скупчення, що досягли головної послідовності і для яких були спектри і класи світності ($V = 9.05^m - 13.22^m$), зробила оцінку фотометричної відстані до скупчення. Унаслідок визначень отримано модуль відстані $(m-M)_0 = 10.4^m \pm 0.9^m$ (відстань $R = 1.20$ кпс). Результат 1982 року.

2. Автори праці [11] визначили відстань $R = 1.262$ кпс та колор-ексцес $E(B-V) = 0.53^m$. Результат 1994 року.

3. Автори праці [12] визначили модуль відстані $(m-M)_0 = 10.3^m \pm 0.083^m$ та відстань $R = 1.148$ кпс, а також колор-ексцес $E(B-V) = 0.744$. Результат 2001 року.

4. Автори праці [3] за спектроскопічними даними ($V = 8.57^m - 13.84^m$) визначили модуль відстані $(m-M)_0 = 10.17^m \pm 0.14^m$ (відстань $R = 1.08$ кпс), а також дали оцінку відношення колор-ексцесів $0.7 < E(U-B)/E(B-V) < 0.8$. Результат 2000 року.

5. Автори праці [10] в посиланні на роботу [13] наводять дані для модуля відстані $(m-M)_0 = 10.85^m \pm 0.15^m$. Результат 1983 року.

6. Автори праці [9] визначили модуль відстані $(m-M)_0 = 11.71^m \pm 0.17^m$, середнє значення почервоніння $E(B-V) = 1.03^m \pm 0.04^m$, а також знайшли відношення колор-ексцесів $E(U-B)/E(B-V) = 0.81 \pm 0.03$. Результат 1995 року.

Відзначимо, що автори вказаних вище праць використовували фотометричні дані для зірок, що яскравіші від $V < 16.0^m$. Бачимо, що в працях перших п'яти пунктів модулі відстаней близькі між собою: $(m-M)_0 = 10.17^m - 10.85^m$. Значно відрізняються дані авторів, що наведені в останньому пункті: $(m-M)_0 = 11.71^m$. Щодо значень колор-ексцесів, то вони різняться вдвічі: $E(B-V) = 0.53^m - 1.03^m$.

V. РЕЗУЛЬТАТИ ФОТОМЕТРИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В ДІЛЯНЦІ СКУПЧЕННЯ NGC 6913 ЗА ДАНИМИ НАШИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Для скупчення NGC 6913 шкала зоряних величин тримається на фотоелектричних вимірах зірок, здійснених у системі *UBV* Ноаг *et al.* в 1961 році [8]. Зірки в полі скупчення (не обов'язково члени скупчення) виміряні до $V < 16.0^m$. Ці дані нанесені на рис. 3 (а, б). Зліва (а) — у вигляді діаграми колір-величина $B-V$, V , а справа — у вигляді діаграми колір-колір $B-V$, $U-B$. На рис. 4 (а, б) подано аналогічні дані, що отримані за допомогою ПЗЗ-фотометрії в цій роботі. Використано ПЗЗ-кадри з експозиціями 600 с (U і B смуги) та 300 с (V смуга).

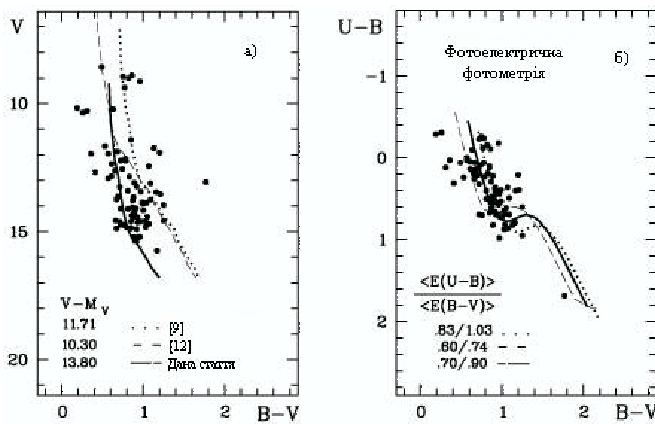


Рис. 3. Діаграма колір-величина $(B-V)-V$ та двоколірна діаграма $(U-B)-(B-V)$ за даними фотоелектричних вимірів [9].

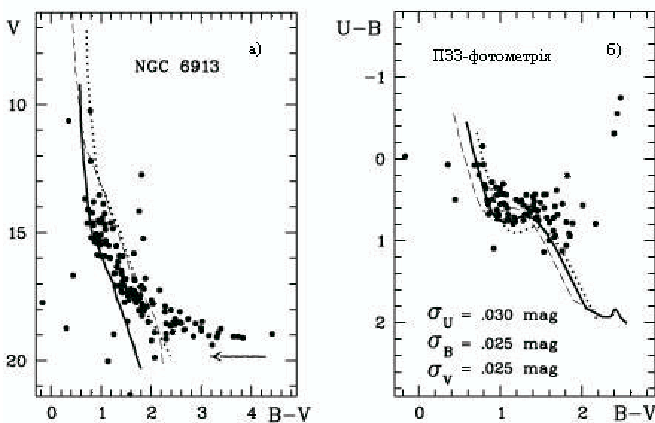


Рис. 4. Діаграма колір-величина $(B-V)-V$ та двоколірна діаграма $(U-B)-(B-V)$ за даними ПЗЗ-фотометрії нашої роботи.

Для визначення почервоніння зірок $E(B-V)$ внаслідок міжзоряного поглинання, значення відношення колор-експесів $E(U-B)/E(B-V)$ і власне модуля відстані $(m-M)_0$ до скупчення ми користувалися даними про початкову головну послідовність (лі-

нія нульового віку, ZAMS), що надруковані в праці [14]. Суміщенням лінії ZAMS з лівою частиною фотометричних даних діаграми $B-V$, $U-B$ (б) знаходимо відношення колор-експесів $E(U-B)/E(B-V) = 0.70/0.90 = 0.78$ (неперервна товста лінія). Отримавши значення $E(B-V) = 0.90^m$, шляхом суміщення (вертикального зсуву вниз) на діаграмі $B-V$, V головної послідовності нульового віку ZAMS стосовно видимих V -величин отримуємо для нашої вибірки зірок модуль відстані $(m-M)_0 = 13.80^m$. Точність одержаних результатів оцінюємо як середню точність редукції інструментальної фотометричної системи в системі *UBV* Джонсона — 0.05^m . Для всіх частин рис. 3 наші результати нанесені товстими неперервними лініями. Для порівняння ми наводимо результати інших авторів: дані роботи [9] нанесені тонкими перервними лініями, а дані роботи [12] — точками. Помітно розходження наших результатів із результатами досліджень інших авторів, особливо велику розбіжність маємо для модуля відстані до скупчення NGC 6913. Розходження сягає 2–3 зоряних величин. Наведемо деякі аргументи на користь достовірності наших результатів щодо фізичних характеристик скупчення:

1. На діаграмі колір-величина $B-V$, V ми користувалися даними фотометрії для зірок до $V = 20^m$, тоді як інші автори обмежувалися значеннями $V < 16^m$.

2. Наші фотометричні дані показують наявність у скупченні так званої T -смуги, тобто змінних зірок типу T Тау, що не досягли головної послідовності нульового віку. На рис. 4, а) вони займають горизонтальну ліву частину (показано стрілкою). У фотометричних даних інших авторів таких зірок не представлено.

3. Для додаткового контролю достовірності як шкали наших зоряних U -, B -, V -величин, так і модуля відстані $(m-M)_0 = 13.80^m$ та відношення $E(U-B)/E(B-V) = 0.70^m/0.90^m = 0.78$ ми використали K -величини каталогу 2MASS [15]. На рис. 5 зображена діаграма $V-K$, $U-V$ для спільних зірок. За даними наших спостережень, $E(U-B) + E(B-V) = 0.70^m + 0.90^m = 1.60^m$, тоді при $E(V-K) = 2.30^m$ дані з двох незалежних каталогів щодо лінії нормальних колор-індексів V класу світності розміщуються без перекосу.

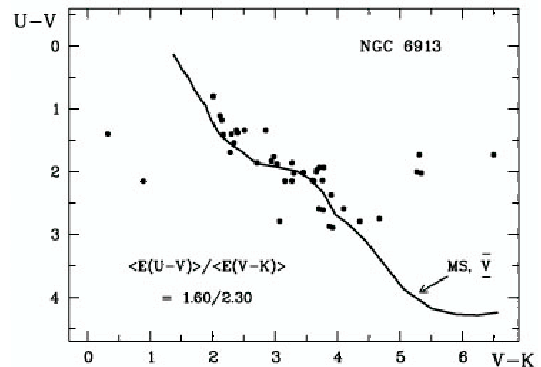


Рис. 5. Двоколірна діаграма $(V-K)-(U-V)$ частини скупчення NGC 6913 для спільних зірок каталогу цієї роботи та каталогу 2MASS.

VI. ВИСНОВКИ

Унаслідок виконаної роботи визначено фотометричну відстань до скупчення $(m-M)_0 = 13.80^m$ та відношення колор-експесів $E(U-B)/E(B-V) = 0.70^m/0.90^m = 0.78$. Використання та аналіз спостережного матеріалу, який отримали інші автори для

всього регіону скупчення NGC 6913, разом з нашими даними дає змогу зробити обережний висновок про наявність у напрямку на це скупчення двох різних зоряних систем типу дальнього розсіяного скупчення і ближчої О-В асоціації, які розділені відстанню приблизно в три зоряні величини.

-
- [1] В. Н. Андрук, Г. З. Бутенко, Кинем. физ. небес. тел **22**, 231 (2006).
- [2] Э. А. Герц, Астрометрия астрофиз. №45, 58 (1982).
- [3] J.-J. Wang, J.-Y. Hu, *Astron. Astrophys.* **356**, 118 (2000).
- [4] K. Jokers *et al.*, *Kinem. Phys. Celest. Bodies* No 3, 13 (2000).
- [5] *MIDAS User Guide. European Southern Observatory – Image Processing Group* (Garching, ESO, 1994).
- [6] V. M. Andruk, A. P. Vid'machenko, Yu. M. Ivashchenko, *Kinem. Phys. Celest. Bodies* No 5, 544 (2005).
- [7] М. С. Казанасмас, Л. А. Завершнева, Л. Ф. Томак, *Атлас фотометрических стандартов звездных полей* (Наукова думка, Киев, 1982), с. 151.
- [8] A. A. Hoag, H. L. Johnson, B. Iriarte, R. I. Mitchell, R. L. Hallan, S. Sharpless, *Publ. Naval Obs.* **17**, 456 (1961).
- [9] P. Massey, K. E. Johnson, K. DeGioia-Easrwood, *Astrophys. J.* **454**, 151, (1995).
- [10] S.-L. Kim, S.-W. Lee, *J. Korean Astron. Soc.* **29**, 31, (1996).
- [11] A. V. Loktin, N. V. Matkin, *Astron. Astrophys. Trans.* **4**, 153, (1994).
- [12] A. V. Loktin, T. P. Gerasimenko, L. K. Malisheva, *Astron. Astrophys. Trans.* **20**, 607, (2001).
- [13] U. C. Joshi, B. B. Sanwal, R. Sagar, *Publ. Astron. Soc. Jpn* **35**, 405 (1983).
- [14] В. Л. Страйжис, *Многоцветная фотометрия звезд* (Моклас, Вильнюс, 1977), с. 312.
- [15] R. M. Cutri, M. F. Skrutskie, S. Van Dyk *et al.*, *The 2MASS All-Sky Catalog of Point Sources* (IPAC, California Insitute of Technology, 2003).

CCD PHOTOMETRY IN THE UBVR SYSTEM IN THE REGION OF NGC 6913 CLUSTER

V. Andruk¹, G. Butenko², L. Svachij¹

¹*Main Astronomical Observatory, NAS of Ukraine
27, Zabolotnoho St., Kyiv, UA-03680, Ukraine
andruk@mao.kiev.ua*

²*International Center for Astronomical, Medical, and Ecological Research
31, Zabolotnoho St., Kyiv, UA-03680, Ukraine
butenko@mao.kiev.ua*

CCD observations of a sky area in the NGC 6913 cluster were made in the *UBV* Johnson system with the two-meter telescope of the Terskol Peak Observatory, the Northern Caucasus, Russia. We derived magnitudes and positions for stars down to $V = 20^m$ for a sky area of $7' \times 5'$ arcmin. The instrumental photometric system is determined with respect to the *UBV* Johnson system. From the observations, we obtained a new value of the distance module $V - M_V = 13.8^m$ as well as the value the reddening $E(U-B)/E(B-V) = 0.7/0.9$. The procedure for reducing CCD frames is briefly described which is realized in the LINUX/MIDAS/ROMAFOT on the basis of a new method of field elimination. The rms error is $\pm 0.02^m - 0.03^m$ for magnitude determination.