

СТАНДАРТИЗАЦИЯ ОБЛАСТИ ЛАЦЕРТИДЫ ЗС 371**Д. Гатилова¹, Е. Г. Ларионова¹, Т. С. Гришина¹, Г. А. Борман²**¹*Санкт-Петербургский государственный университет,*²*Крымская астрофизическая обсерватория*

Работа посвящена определению звездных величин кандидатов в звезды сравнения для лацертиды ЗС 371 в стандартной фотометрической системе Джонсона — Казинса. Измерен блеск 12 звезд, находящихся в пределах $10'$ удаления от объекта. Приводятся полученные стандартные звездные величины в полосах В, V, R_c, I_c. Отобранные звезды имеют широкий диапазон показателей цвета и могут быть использованы для исследования фотометрической переменности объекта ЗС 371 в различных фазах его активности.

STANDARDIZATION OF THE LACERTAE ЗС 371 OBJECT AREA**D. Gatilova¹, E. G. Larionova¹, T. S. Grishina¹, G. A. Borman²**¹*Saint-Petersburg State University,* ²*Crimean Astrophysical Observatory*

The work is devoted to determining the stellar magnitudes of candidates for comparison stars for Lacertae ЗС 371 in the standard Johnson-Cousins photometric system. The brightness of 12 stars located within $10'$ distance from the object was measured. The obtained standard stellar magnitudes in bands B, V, R_c, I_c are given. The selected stars have a wide range of color indicators and can be used to study the photometric variability of object ЗС 371 in various phases of its activity.

Введение

При наблюдениях с ПЗС-фотометром получают кадры, на которых находятся изображения звезд и других объектов, попавших в поле зрения телескопа. Для ПЗС-фотометрии используется метод дифференциальной фотометрии: блеск изучаемого объекта измеряется относительно блеска «звезд сравнения», звезд, имеющих достаточно постоянный уровень блеска и присутствующих на одном кадре с объектом. Так как звезды сравнения присутствуют на том же самом кадре, удается повысить точность измерения блеска объекта и нивелировать влияние атмосферного поглощения. Для применения этого метода необходимо знать величины звезд сравнения в стандартной фотометрической системе.

В 2023 г. 70-сантиметровый телескоп АЗТ-8 Крымской астрофизической обсерватории был оснащен новой ПЗС-камерой Greateyse ELSEi VI MID. Поле зрения с новой камерой составляет $16' \times 16'$, в отличие от прежнего размера $7' \times 10'$, масштаб изображения $0.95''/\text{пиксел}$. Размер поля существенно увеличился, на него попало больше звезд и появилась возможность подбора дополнительных звезд сравнения.

Отдельные звезды из окрестностей ЗС 371 уже использовались для дифференциальной фотометрии различными авторами. В табл. 1 и 2 мы приводим сведения об этих звездах и их величинах, найденные в литературных источниках. Номера звезд в табл. 1 и 2 соответствуют нумерации на поисковой карте, приведенной на рисунке.

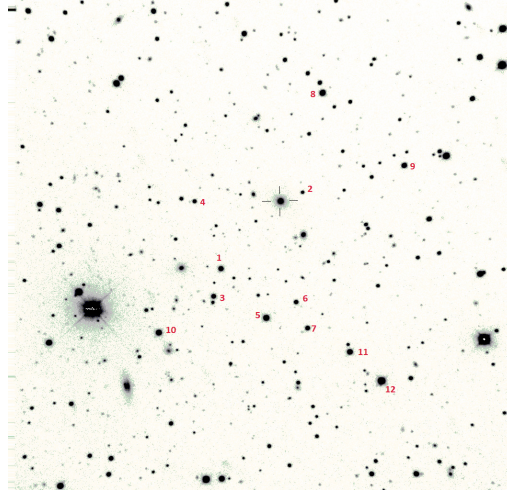
В табл. 1 и 2 видно, что блеск данных звезд измерен не во всех четырех требующихся нам фильтрах BVR_cI_c. При этом оценки блеска в фильтре В, единственном используемым в обеих работах, для звезд 1 и 6 более чем на 0.1^m различаются между собой. Эти обстоятельства обусловили необходимость дополнительной стандартизации поля лацертиды ЗС 371.

Таблица 1. Величины некоторых звезд поля ЗС 371, найденные в литературных источниках

| Номер звезды по нашей нумерации на рисунке | B | V | R | I | Авторы работы |
|--|------------------|---|---|------------------|---------------|
| 1 | 14.95 ± 0.01 | — | — | 13.40 ± 0.01 | [1] |
| 3 | 15.13 ± 0.01 | — | — | 13.93 ± 0.01 | [1] |
| 4 | 16.07 ± 0.02 | — | — | 14.77 ± 0.01 | [1] |
| 6 | 15.86 ± 0.01 | — | — | 14.29 ± 0.01 | [1] |

Таблица 2. Величины некоторых звезд поля ЗС 371, найденные, в литературных источниках

| Номер звезды по нашей нумерации на рисунке | B | V | R | I | Авторы работы |
|--|------------------|------------------|---|---|---------------|
| 1 | 15.08 ± 0.03 | 14.21 ± 0.03 | — | — | [2] |
| 2 | 16.98 ± 0.03 | 16.31 ± 0.03 | — | — | [2] |
| 3 | 15.13 ± 0.03 | 14.53 ± 0.03 | — | — | [2] |
| 4 | 16.06 ± 0.03 | 15.42 ± 0.03 | — | — | [2] |
| 6 | 15.97 ± 0.03 | 15.11 ± 0.03 | — | — | [2] |
| 7 | 15.26 ± 0.03 | 14.67 ± 0.03 | — | — | [2] |
| 8 | 14.20 ± 0.03 | 13.60 ± 0.03 | — | — | [2] |



Поисковая карта блазара ЗС 371, размер $16' \times 16'$. Номерами обозначены кандидаты в звезды сравнения. Север расположен сверху, восток — слева

Наблюдательные данные и их обработка

Для привязки блеска звезд, присутствующих на кадре размером $16 \times 16'$, к стандартной фотометрической системе Джонсона — Казинса мы использовали данные, полученные на 70-см телескопе АЗТ-8 Крымской астрофизической обсерватории в августе 2023 г. Из рабочих кадров, полученных при наблюдениях, вычитались кадры bias и dark, последние были интерполированы на время экспозиции рабочих кадров. Затем каждый рабочий кадр был исправлен за плоское поле. При наблюдениях в каждом фильтре записывалась серия кадров от 10 до 20 штук. С помощью программы Preprocess (А. ди Паола), созданной на основе программы SExtractor (F. Bertin), единичные кадры в каждом фильтре складывались, что позволило получить большое время суммарной экспозиции: в фильтре В — 900 с, в V — 480 с, в R — 480 с и в I — 560 с.

Определение величин звезд сравнения

Для стандартизации поля лацертиды 3С 371 был выбран стандарт SA 38-137 из работы [3], величина в полосе V= 13.517 ± 0.0013 , показатель цвета B-V= 0.736 ± 0.0014 . Наблюдения проводились по схеме стандарт—объект—стандарт в хорошую безлунную фотометрическую ночь. Этот метод позволяет определить величины изучаемых звезд по величинам стандарта. При этом время наблюдений было выбрано так, чтобы стандарт Ландольта находился на близкой воздушной массе к объекту. Значения воздушных масс приведены в табл. 3.

Таблица 3. Значения воздушной массы при наблюдениях по схеме стандарт—объект—стандарт

| Первое наблюдение стандарта Ландольта | Наблюдение поля лацертиды 3С371 | Второе наблюдение стандарта Ландольта |
|---------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| 1.0358 | 1.0357 | 1.0881 |

Фотометрическая «привязка» была выполнена с помощью пакета программ PHOT1910, разработанного В. М. Ларионовым на основе программы SExtractor. При выборе кандидатов в звезды сравнения мы использовали следующие критерии:

- расстояния на кадре между центрами изображений избранной звезды и соседних звезд должны быть больше $10'$;
- ошибка, обусловленная соотношением S/N, выраженная в звездных величинах, не должна превышать 0.008;
- звезда не должна числиться как переменная в астрономической базе Simbad.

Так как наблюдения 2023 г. проводились с новой ПЗС-камерой, мы определили характеристики инструментальной фотометрической системы телескопа АЗТ-8. Для этого по BVR_cI_c кадрам рассеянного звездного скопления NGC188 были определены коэффициенты перехода от инструментальной к стандартной фотометрической системе по формулам (1).

$$M^i = m^i + \zeta^i + \varepsilon^i C^{iR}, \quad (1)$$

где i — фотометрический фильтр (B, V, R или I); M^i и C^{iR} — звездные величины и показатели цвета B-R, V-R или R-I в стандартной фотометрической системе; m^i — звездные величины в инструментальной системе; ε^i — коэффициенты перехода; ζ^i — константа нуля-пункта.

В табл. 4 представлены результаты определения параметров новой инструментальной системы.

Таблица 4. Характеристики инструментальной системы телескопа АЗТ-8, оснащенного ПЗС-камерой GE VI MID

| Полоса | ζ^i | ε^i |
|--------|--------------------|--------------------|
| B | -0.107 ± 0.011 | 0.099 ± 0.008 |
| V | 0.081 ± 0.011 | -0.126 ± 0.022 |
| R | 0.062 ± 0.012 | -0.109 ± 0.027 |
| I | 0.032 ± 0.014 | -0.024 ± 0.032 |

Таблица 5. Величины избранных звезд в стандартной фотометрической системе Джонсона — Казинса

| № | B | V | R _c | I _c |
|----|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 14.993 ± 0.010 | 14.254 ± 0.027 | 13.813 ± 0.031 | 13.391 ± 0.040 |
| 2 | 17.038 ± 0.012 | 16.368 ± 0.027 | 15.989 ± 0.031 | 15.617 ± 0.040 |
| 3 | 15.165 ± 0.010 | 14.634 ± 0.027 | 14.278 ± 0.031 | 13.924 ± 0.040 |
| 4 | 16.118 ± 0.010 | 15.535 ± 0.027 | 15.164 ± 0.031 | 14.796 ± 0.040 |
| 5 | 14.032 ± 0.010 | 13.403 ± 0.027 | 13.025 ± 0.031 | 12.655 ± 0.040 |
| 6 | 15.925 ± 0.010 | 15.168 ± 0.027 | 14.719 ± 0.031 | 14.289 ± 0.040 |
| 7 | 15.295 ± 0.010 | 14.725 ± 0.027 | 14.372 ± 0.031 | 14.015 ± 0.040 |
| 8 | 14.301 ± 0.010 | 13.749 ± 0.027 | 13.421 ± 0.031 | 13.057 ± 0.040 |
| 9 | 16.085 ± 0.010 | 14.810 ± 0.027 | 14.003 ± 0.031 | 13.282 ± 0.040 |
| 10 | 14.805 ± 0.010 | 13.722 ± 0.027 | 13.110 ± 0.031 | 12.536 ± 0.040 |
| 11 | 14.662 ± 0.010 | 13.953 ± 0.027 | 13.531 ± 0.031 | 13.112 ± 0.040 |
| 12 | 12.942 ± 0.010 | 12.438 ± 0.027 | 12.124 ± 0.031 | 11.796 ± 0.040 |

Результаты стандартизации выбранных нами 12 звезд поля ЗС371 представлены в табл. 5. Ошибки определения звездных величин получены как квадратичные суммы следующих погрешностей:

- а) инструментальных звездных величин, определяемых соотношением S/N;
- б) звездных величин стандарта Ландольта;
- в) определения коэффициентов перехода от инструментальной системы к стандартной (табл. 4);
- г) фотометрической стабильности величин стандарта Ландольта между первой и второй сериями наблюдений.

Ошибки для всех звезд оказались одинаковы, так как основной вклад в итоговую величину ошибки внесли равные для всех избранных звезд факторы в) и г), на порядок превышающие факторы а) и б).

Полученные результаты

В результате выполненной нами работы определены величины 12 звезд поля блазара ЗС 371 в фотометрических полосах B, V, R_c, I_c. Охвачен диапазон звездных величин от 16.368 до 12.438 в полосе V. Диапазон показателей цвета B–V: от 0.504 до 1.275. Так как распределение энергии в спектре лацертиды может меняться, следует выбрать для звезд сравнения те звезды, совокупность которых обеспечит широкий диапазон показателей цвета. В дальнейшей работе следует контролировать постоянство блеска кандидатов в звезды сравнения. Желательно провести дополнительную привязку к стандартам Ландольта в течение нескольких наблюдательных ночей для повышения статистической значимости результатов стандартизации.

Библиографические ссылки

- [1] *Xilouris E. M., Papadakis I. E., Boumis P. et al.* B and I-band optical micro-variability observations of the BL Lac objects S5 2007+777 and ЗС 371 // *Astron. Astrophys.* — 2006. — Vol. 448. — P. 143–153.
- [2] *McGimsey B. Q., Miller H. R.* Photoelectric comparison sequences in the fields of optically active extragalactic objects // *Astron. J.* — 1977. — Vol. 82. — P. 453–455.
- [3] *Landolt A. U.* UBVRI Photometric Standard Stars around the Sky at +50 deg Declination // *Astron. J.* — 2013. — Vol. 146. — P. 131–172.