

УДК 524.332

ПЗС НАБЛЮДЕНИЯ И ИЗМЕНЯЕМОСТЬ ПЕРИОДА DV ЕДИНОРОГА — ПЕРЕМЕННОЙ ТИПА RR ЛИРЫ, ПОДТИП ab

© 2019 Л. Н. Бердников^{1*}, А. Ю. Князев^{2,3,1**}, А. К. Дамбис^{1,4***},
В. В. Кравцов^{1****}, Е. Н. Пастухова^{5*****}, И. Ю. Катков^{1,6*****}

¹Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, Москва, 119992 Россия

²Южно-Африканская астрономическая обсерватория, Кейптаун, 7935 ЮАР

³Южный Африканский большой телескоп, Кейптаун, 7935 ЮАР

⁴Физический факультет Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, Москва, 119991 Россия

⁵Институт астрономии РАН, Москва, 119017 Россия

⁶Нью-Йоркский университет Абу-Даби, Абу-Даби, 129188 ОАЭ

Поступила в редакцию 3 декабря 2018 года; после доработки 12 марта 2019 года; принята к публикации 12 марта 2019 года

Получены 635 ПЗС кадров в фильтрах B , V и I_c для переменной типа RR Лиры (подтип ab) DV Единорога, расположенной в $1''9$ от яркой звезды. Наблюдения выполнялись с помощью ПЗС камеры SBIG CCD ST-10XME на 76-см телескопе Южно-Африканской астрономической обсерватории. PSF-фотометрия позволила впервые получить надежные отдельные кривые блеска для обеих звезд и определить их координаты. На основе всех имеющихся данных построена диаграмма $O - C$, охватывающая интервал времени длительностью 110 лет, что позволило выявить как минимум три резких изменения периода, произошедшие в эпохи около JD 2438000, 2453500 и 2456500. Эшельные спектры высокого разрешения, полученные на Южном Африканском большом телескопе (SALT), свидетельствуют о том, что DV Единорога является переменной типа RR Лиры подтипа ab толстого диска Галактики.

Ключевые слова: *звезды: переменные: типа RR Лиры*

1. ВВЕДЕНИЕ

Переменные типа RR Лиры являются эффективным инструментом для исследования кинематики старого населения и определения расстояний. Но для определения периода изменений блеска, средней звездной величины и формы кривой блеска (которая, в частности, служит основой классификации звезды как переменной типа RR Лиры) необходимо получить большой объем фотометрических данных.

Нами реализуется программа ПЗС наблюдений переменных типа RR Лиры с плохо прописанными или отсутствующими кривыми блеска [1–3], одной из которых является DV Единорога.

DV Единорога была открыта Хоффмейстером на фотопластинках [4] как короткопериодическая переменная с амплитудой 0^m5 . Анерт [5] определил период звезды – согласно его данным он равен $0^d.413394$ – и классифицировал ее как переменную типа RR Лиры с изменением блеска в пределах $12^m85 - 13^m25$. Лейден [6] в ходе фотометрических наблюдений обнаружил, что переменная образует тесную оптическую пару с расположенной рядом звездой, которую не удалось вывести за пределы апертуры и которая из-за этого искажала измеренные значения звездных величин. Мартигнони [7] опубликовал ПЗС наблюдения звезды без фильтра, по которым получалась кривая блеска с амплитудой 0^m5 , т.е., такой же, как и по данным Лейдена [6]. Это свидетельствовало о том, что результаты апертурной фотометрии Мартигнони были искажены влиянием близкого яркого оптического компаньона.

По этой причине мы включили DV Единорога в программу наших спектральных и фотометриче-

*E-mail: lberdnikov@yandex.ru

**E-mail: akniyazev@sao.ac.za

***E-mail: dambis@yandex.ru

****E-mail: valery.kravtsov@uda.c1

*****E-mail: pastukhova@sai.msu.ru

*****E-mail: katkov@sai.msu.ru

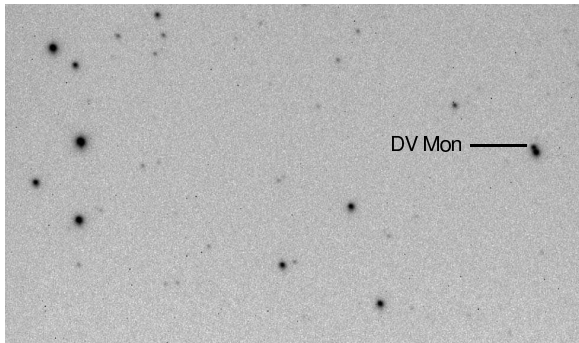


Рис. 1. Карта окрестности DV Единорога размером $3'.3 \times 2'.0$, север вверху, восток слева.

ских ПЗС наблюдений, результаты которых представлены в данной статье.

2. НАБЛЮДЕНИЯ

2.1. Фотометрия

Мы выполнили фотометрические ПЗС наблюдения звезды в течение трех сезонов с декабря 2010 г. по январь 2013 г. (интервал эпох JD 2455896–56785) на 76-см телескопе Южноафриканской астрономической обсерватории (SAAO) с помощью ПЗС камеры SBIG CCD ST-10XME в фильтрах BVI_c системы Крона–Казинса [8]. Карта окрестности DV Единорога размером $3'.3 \times 2'.0$ приведена на рис. 1.

Для обработки данных использовалось то же программное обеспечение, что и в нашей предыдущей статье [9]. На основе обработки данных для всех фотометрических ночей был получен каталог положений и PSF звездных величин для всех объектов на лучших ПЗС кадрах, выявлены постоянные звезды, которые использовались затем в качестве звезд сравнения для дифференциальной фотометрии всех звезд на всех ПЗС кадрах, включая кадры, полученные в нефотометрические ночи.

Всего было получено 635 ПЗС кадров. Результаты наших фотометрических наблюдений представлены в таблице 1, а кривые блеска DV Единорога в фильтрах BVI_c показаны на рис. 2.

В качестве опорного каталога для определения координат DV Единорога и ее близкого оптического компаньона использовался каталог USNO-B1.0 [10]. Оказалось, что в Общем каталоге переменных звезд (ОКПЗ) для звезды приведены неправильные координаты, которые на самом деле относятся к более яркому оптическому компаньону. В таблице 2 приведены координаты обеих звезд из второй версии каталога Gaia на основе правильного отождествления вместе с их звездными величинами в фильтрах BVI_c .

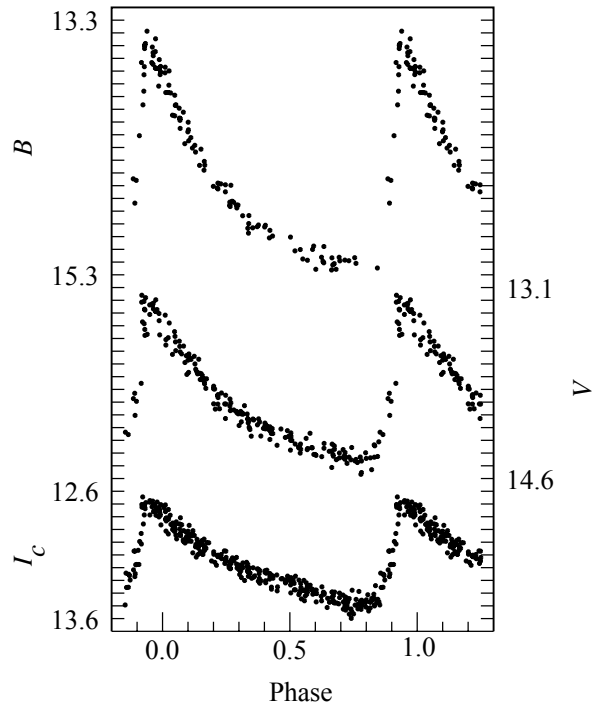


Рис. 2. Кривые блеска DV Единорога в фильтрах BVI_c .

В этой же таблице также приводятся усредненные по интенсивности средние звездные величины DV Единорога, используемые для оценки расстояния.

2.2. Спектральные наблюдения

17 января 2019 г. был получен спектр звезды с экспозицией 2500 секунд на спектрографе HRS [13–16] Южного Африканского большого телескопа [11, 12]. При этом спектрограф HRS работал в режиме среднего разрешения (MR; $R \sim 40\,000$ – $43\,000$), а диаметр оптического волокна составлял $2''.23$ для спектра объекта и спектра неба. В результате был получен спектр, охватывающий диапазон длин волн примерно 3900 – 8900 Å. Считывание ПЗС спектров голубого и красного плеч производилось через один усилитель с биннингом 1×1 . Наблюдение выполнялось при качестве изображения в $1''.9$. Наблюдатель видел, что объект состоит из двух источников и устанавливал центр волокна на более слабый источник, т.е., собственно на DV Единорога. В ходе еженедельной калибровки спектрографа HRS снимались три спектра плоского поля излучения ториево-аргоновой лампы — этого достаточно для достижения внешней точности 300 м с^{-1} . Все полученные данные сначала подвергались первичной стандартной обработке [17]. Для спектроскопической редукации данных спектрографа HRS использовалась наше собственное

Таблица 1. ПЗС наблюдения DV Единорога

HJD 2400000+	Фильтр	Зв. величина	HJD 2400000+	Фильтр	Зв. величина	HJD 2400000+	Фильтр	Зв. величина
55563.44361	<i>V</i>	14.210	55566.54687	<i>B</i>	13.676	55566.54723	<i>V</i>	13.288
55566.54753	<i>I_c</i>	12.753	55567.52998	<i>I_c</i>	13.283	55568.37782	<i>B</i>	14.924
55568.37818	<i>V</i>	14.188	55568.37848	<i>I_c</i>	13.237	55568.37899	<i>B</i>	14.910
55568.37917	<i>V</i>	14.209	55568.37930	<i>I_c</i>	13.303	55570.34362	<i>V</i>	13.790
55570.34381	<i>I_c</i>	13.018	55570.34451	<i>I_c</i>	13.095	55570.38841	<i>I_c</i>	13.152
55570.38873	<i>B</i>	14.763	55570.38897	<i>V</i>	14.066	55570.38915	<i>I_c</i>	13.205
55570.40325	<i>V</i>	14.183	55570.40344	<i>I_c</i>	13.213	55570.40416	<i>I_c</i>	13.253
55570.41683	<i>I_c</i>	13.229	55570.41757	<i>I_c</i>	13.216	55570.41845	<i>B</i>	14.972
55570.41924	<i>I_c</i>	13.237	55570.43612	<i>I_c</i>	13.284	55570.43685	<i>I_c</i>	13.322
55570.46447	<i>I_c</i>	13.257	55570.46488	<i>V</i>	14.339	55570.46507	<i>I_c</i>	13.382
55570.46566	<i>I_c</i>	13.350	55570.48678	<i>I_c</i>	13.335	55570.48735	<i>V</i>	14.241
55570.48753	<i>I_c</i>	13.278	55570.50243	<i>V</i>	14.400	55570.50261	<i>I_c</i>	13.381
55570.50432	<i>I_c</i>	13.445	55570.52222	<i>I_c</i>	13.377	55570.52250	<i>B</i>	15.100
55570.52293	<i>I_c</i>	13.408	55570.55529	<i>B</i>	15.222	55570.55553	<i>V</i>	14.411
55570.55572	<i>I_c</i>	13.455	55570.55625	<i>V</i>	14.424	55570.55645	<i>I_c</i>	13.419
55570.57185	<i>I_c</i>	13.415	55570.57226	<i>V</i>	14.435	55570.57244	<i>I_c</i>	13.525
55572.33288	<i>I_c</i>	12.707	55574.43183	<i>I_c</i>	12.893	55574.43234	<i>V</i>	13.446
55575.41301	<i>B</i>	15.010	55575.41325	<i>V</i>	14.219	55575.41344	<i>I_c</i>	13.290
55575.41391	<i>B</i>	14.950	55575.41427	<i>V</i>	14.223	55575.41457	<i>I_c</i>	13.274
55575.43889	<i>V</i>	14.277	55575.43920	<i>I_c</i>	13.319	55575.46729	<i>B</i>	15.175
55575.46795	<i>I_c</i>	13.378	55577.43372	<i>V</i>	14.091	55577.43392	<i>I_c</i>	13.196
55577.43446	<i>V</i>	14.154	55577.43465	<i>I_c</i>	13.278	55577.48027	<i>I_c</i>	13.246
55579.28242	<i>I_c</i>	13.472	55579.28343	<i>I_c</i>	13.494	55579.31870	<i>I_c</i>	13.252
55579.31976	<i>I_c</i>	13.261	55580.33770	<i>V</i>	14.093	55580.33789	<i>I_c</i>	13.192
55580.33845	<i>V</i>	14.133	55580.33864	<i>I_c</i>	13.173	55580.37538	<i>I_c</i>	13.256
55580.37833	<i>V</i>	14.208	55580.37864	<i>I_c</i>	13.263	55580.40470	<i>V</i>	14.269
55580.40500	<i>I_c</i>	13.298	55580.46065	<i>B</i>	15.194	55580.46131	<i>I_c</i>	13.393
55580.47522	<i>B</i>	15.166	55580.47558	<i>V</i>	14.329	55580.47588	<i>I_c</i>	13.391
55580.50733	<i>V</i>	14.356	55580.50763	<i>I_c</i>	13.548	55586.32920	<i>I_c</i>	13.451
55586.37209	<i>B</i>	13.495	55586.37245	<i>V</i>	13.475	55586.39803	<i>B</i>	13.706
55586.39847	<i>I_c</i>	12.864	55586.40625	<i>B</i>	13.868	55586.40649	<i>V</i>	13.509
55586.40667	<i>I_c</i>	12.819	55586.41135	<i>B</i>	13.810	55586.41718	<i>V</i>	13.625
55586.41737	<i>I_c</i>	12.900	55586.42318	<i>I_c</i>	12.853	55586.44482	<i>V</i>	13.652
55586.44952	<i>B</i>	14.304	55586.45018	<i>I_c</i>	13.083	55586.46887	<i>B</i>	14.409
55586.46923	<i>V</i>	13.856	55586.46953	<i>I_c</i>	13.046	55586.51004	<i>B</i>	14.753
55586.51040	<i>V</i>	14.031	55586.51070	<i>I_c</i>	13.161	55587.35677	<i>I_c</i>	13.188
55587.36803	<i>B</i>	14.834	55587.36839	<i>V</i>	14.198	55587.36869	<i>I_c</i>	13.247
55587.38331	<i>I_c</i>	13.306	55587.38468	<i>I_c</i>	13.247	55587.44278	<i>B</i>	15.112

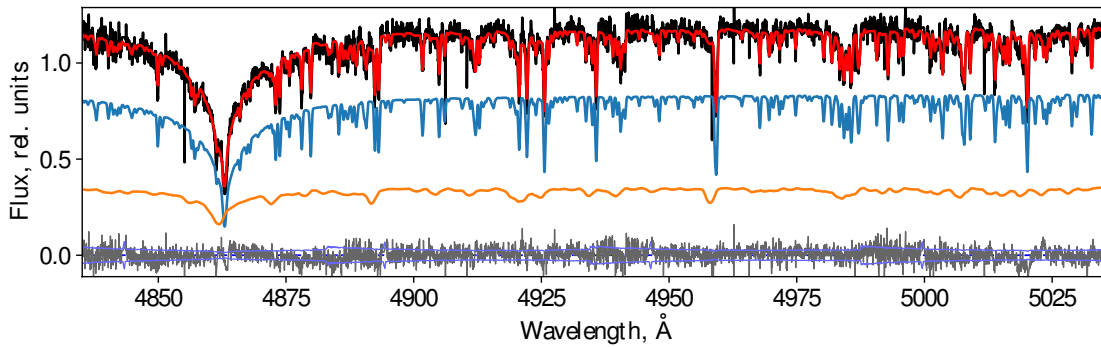


Рис. 3. Результат анализа спектра DV Единорога, полученного на спектрографе HRS. Черная и красная линии соответствуют наблюдаемому спектру и его модельному приближению. Синий и оранжевые спектры относятся, соответственно, к DV Единорога и его оптическому компаньону. В нижней части рисунка показана разность между наблюдаемым и модельным спектрами с учетом ошибок процесса обработки данных спектрографа HRS. Резкие пики на наблюдаемом спектре связаны с неучтенными следами от космических частиц.

Таблица 2. Параметры DV Единорога и его оптического компаньона, определенные по данным фотометрии

Параметр	DV Единорога	Компаньон
Прямое восхождение	06 ^h 45 ^m 19 ^s .4381	06 ^h 45 ^m 19 ^s .3799
Склонение	-8°50'18".991	-8°50'20".710
Блеск в фильтре <i>B</i>	13 ^m 50-15 ^m 30	13 ^m 85
Блеск в фильтре <i>V</i>	13 ^m 23-14 ^m 46	13 ^m 33
Блеск в фильтре <i>I_c</i>	12 ^m 69-13 ^m 50	12 ^m 71
Ср. интенс. в $\langle B \rangle$	14 ^m 58	-
Ср. интенс. в $\langle V \rangle$	13 ^m 99	-
Ср. интенс. в $\langle I_c \rangle$	13 ^m 17	-
<i>B</i> - <i>V</i>	0 ^m 59	0 ^m 52
<i>V</i> - <i>I_c</i>	0 ^m 82	0 ^m 62

Таблица 3. Параметры DV Единорога и его оптического компаньона, определенные по данным спектроскопии

Параметр	DV Единорога	Компаньон
<i>T</i> _{эфф} , К	6930 ⁺⁵⁰ ₋₅₀	14 700 ⁺¹⁵⁰ ₋₁₅₀
lg <i>g</i> , см с ⁻¹	3.3 ± 0.1	4.9 ± 0.1
[Fe/H], dex	-0.19 ± 0.07	-0.24 ± 0.05
<i>v</i> sin <i>i</i> , км с ⁻¹	12.6 ± 0.2	71.9 ± 2.5
<i>V_r</i> _{hel} , км с ⁻¹	102.1 ± 0.1	29.9 ± 1.2
<i>Bec</i>	0.70 ± 0.01	0.30 ± 0.01

программное обеспечение, подробное описанное в статьях Князева и др. [18] и [19].

3. СПЕКТР DV ЕДИНОРОГА И ЕГО ОПТИЧЕСКОГО КОМПАНИОНА

Для исследования полностью обработанных спектров спектрографа HRS использовалось программное обеспечение, специально разработанное нашей группой (Катков и др., готовится к печати). Эта программа использует библиотеку теоретически рассчитанных звездных спектров высокого разрешения и предназначена для определения лучевых скоростей и звездных параметров (*T*_{эфф}, lg *g*, sin *i* и [Fe/H]) для обоих компонентов двойной системы. Эта программа одновременно аппроксимирует наблюдаемый спектр модельным, который получается путем интерполяции сетки звездных моделей, и свертывает его с функцией,

учитывающей инструментальное разрешение и уширение, вызванное вращением звезды (*v* sin *i*) со сдвигом, соответствующим конкретному значению лучевой скорости на данную эпоху. В случае, когда известно, что речь идет о двойной звезде, производится подгонка двух модельных спектров для компонентов, каждый со своей лучевой скоростью и параметрами звездной атмосферы. В текущей версии программы используются модели звезд из [21].

Результаты нашего анализа приведены в таблице 3 и представлены на рис. 3. В ходе наблюдения DV Единорога на спектрографе HRS волокно было установлено на центр самой звезды DV Единорога. Поскольку диаметр волокна соответствовал 2".23, а расстояние между DV Единорога и ее оптическим компаньоном составляет около 1".9, то вклад более яркого компаньона не отражает реального отношения потоков от двух звезд. Как видно из таблицы 3, на более яркую звезду-компаньон приходится всего 0.3 общего потока.

Наблюдение DV Единорога на спектрографе HRS было выполнено в эпоху JD = 2458501.4697, что соответствует фазе 0.65 (см. таблицу 6) и

поэтому измеренная лучевая скорость достаточно близка к системной скорости звезды. Измеренные значения $V_{r\text{hel}}$ и $[\text{Fe}/\text{H}]$ позволяют уверенно отнести DV Единорога к классу переменных типа RR Лиры (подтип ab) старого Галактического диска, в пользу чего свидетельствует также и определенное по спектру значение эффективной температуры $T_{\text{эф}}$.

4. АБСОЛЮТНАЯ ЗВЕЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА И РАССТОЯНИЕ ДО DV Единорога

Значения тригонометрических параллаксов DV Единорога и ее компаньона, приведенные во втором выпуске каталога Gaia DR2, равны, соответственно, $\rho x = 0.3508 \pm 0.0339$ и 0.5398 ± 0.0316 миллисекунд дуги [22]. Их разность составляет 0.1890 ± 0.04463 миллисекунд дуги, т.е., 4.08σ , исключая возможность физической связи между звездами. Параллаксу DV Единорога соответствует расстояние $D = 2.851 \pm 0.251$ кпк, но необходимо также учесть систематическую ошибку параллаксов Gaia DR2. Так, в рекомендациях по использованию параллаксов Gaia DR2 Лури и др. [23] признают наличие смещения нуль-пункта системы параллаксов на величину 30 микросекунд дуги (параллаксы Gaia DR2 занижены на эту величину). Цинн и др. [24] оценивают систематическое смещение нуль-пункта параллаксов Gaia DR2 в 52.8 ± 3.4 и 50.2 ± 3.5 микросекунд дуги на основе анализа данных для звезд ветви красных гигантов и сгущения красных гигантов, соответственно. Рисс и др. [25] получили оценку смещения параллаксов, равную 46 ± 13 микросекунд дуги на основе анализа ярких Галактических цефеид, а сравнение фотометрических параллаксов 94 рассеянных скоплений со средними тригонометрическими параллаксами Gaia DR2 их членов в работе Ялялиевой и др. [26] дает для смещения нуль-пункта системы параллаксов Gaia DR2 оценку 44.6 ± 8.9 микросекунд дуги. По этой причине мы добавляем к тригонометрическому параллаксу DV Единорога поправку, равную $+0.050$ миллисекунд дуги и получаем исправленное значение параллакса $\rho x_{\text{DV Mon}} = 0.4008$ миллисекунд дуги, что соответствует расстоянию 2.495 кпк. Недавно опубликованная трехмерная карта межзвездного поглощения Грина и др. [27, 28] дает для DV Единорога значение избытка цвета $E_{B-V} = 0.296$. Принятые значения расстояния и покраснения в сочетании со значением средней по потоку звездной величины в фильтре V из таблицы 2 дают для звезды значение абсолютной звездной величины в фильтре V , равное $\langle M_V \rangle = +1.058$, что, учитывая значение металличности

$[\text{Fe}/\text{H}] = -0.19$ из таблицы 3, находится в хорошем согласии со значением, которое получается по калибровке зависимости металличность-светимость на основе результатов применения метода статистических параллаксов в работе Дамбиса и др. [29] ($\langle M_V \rangle = +1.094 + 0.232 \times [\text{Fe}/\text{H}]$) — $M_V = +1.055$ — и при этом значительно слабее значения $M_V = +0.735$, которое получается в случае применения калибровки Бенедикта и др. [30] ($\langle M_V \rangle = +0.45 + 0.214 \times ([\text{Fe}/\text{H}] + 1.5)$), основанной на тригонометрических параллаксах, измеренных с помощью Космического телескопа Хаббл.

5. ИЗМЕНЯЕМОСТЬ ПУЛЬСАЦИОННОГО ПЕРИОДА

Для исследования изменчивости пульсационного периода DV Единорога мы использовали стандартный метод анализа диаграмм $O - C$. Наиболее точный способ определения остатков $O - C$ состоит в использовании метода Герцшпрунга [31], описание компьютерной реализации которого приведено в статье [32].

Мы дополнили наши ПЗС наблюдения (таблица 1) ПЗС наблюдениями обзоров ASAS-3 [33], ASAS-SN [34, 35], INTEGRAL-OMC [36] и NSVS [37], а также наблюдениями из международной баз данных Американской ассоциации наблюдателей переменных звезд (AAVSO) [38], статей [39] и [6], а также списки опубликованных моментов максимума блеска [7, 40–44]. Мы также использовали моменты фотографических максимумов блеска из статьи [5] и кроме того обнаружили еще пять моментов максимума блеска, исследовав фотопластинки коллекции ГАИШ МГУК (Москва). Сводка числа использованных наблюдений, которые охватывают интервал времени длительностью 110 лет, приведена в таблице 4.

Поскольку все опубликованные оценки блеска DV Единорога включают вклад компаньона, мы вычли его поток (в соответствии с данными таблицы 2) из всех измерений и перевели получившиеся интенсивности в звездные величины, ряды которых потом были обработаны методом Герцшпрунга. В таблице 5 приводятся результаты расчета значений $O - C$ для сезонных кривых блеска DV Единорога. В первом и втором столбце приводится вычисленное значение момента максимума блеска и его среднеквадратичная ошибка; в третьем столбце указан тип наблюдений (см. таблицу 4); в четвертом и пятом столбцах приводится номер эпохи E и значение остатка $O - C$ (в сутках), а в шестом и седьмом столбцах приводится число наблюдений N и источник данных (см. таблицу 4).

Таблица 4. Наблюдательные данные для DV Единорога

Источник данных	Количество наблюдений	Тип наблюдений	Интервал JD
Эта статья	5	Фотографические максимумы (PG)	2418376–2449359
[5]	25	Фотографические максимумы (PG) (PG)	2425246–2431031
[5]	52	Photographic (PG)	2425246–2431031
[6]	33	Фотоэлектрическая фотометрия (B)	2448965–2448972
[6]	33	Фотоэлектрическая фотометрия (V)	2448965–2448972
[39]	15	ПЗС (V)	2449668–2450025
NSVS	99	ПЗС (без фильтра)	2451455–2451630
ASAS-3	569	ПЗС (V)	2451868–2455168
[7]	167	3 момента максимума, ПЗС (без фильтра)	2451574–2451963
[40–44]	–	11 моментов максимума, ПЗС (без фильтра)	2454073–2455575
Эта статья	115	ПЗС (B)	2455566–2456317
Эта статья	194	ПЗС (V)	2455563–2456317
Эта статья	326	ПЗС (I_c)	2455566–2456317
AAVSO	436	ПЗС (V)	2451574–2456322
INTEGRAL-OMC	156	ПЗС (V)	2452749–2455704
ASAS-SN	967	ПЗС (V)	2457007–2458419
ASAS-SN	54	ПЗС (g)	2458335–2458423

Таблица 5. Эпохи максимума блеска DV Единорога

Эпоха максимума	Ошибка, сутки	Полоса	E	$O - C$, сутки	N	Источник данных
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
2418376.2580	–	PG	–95153	0.0287	–	This paper
2425246.4700	–	PG	–78534	0.1679	–	[5]
2425246.5000	–	PG	–78534	0.1979	–	[5]
2425534.6400	–	PG	–77837	0.2074	–	[5]
2425650.3800	–	PG	–77557	0.1991	–	[5]
2425984.4600	–	PG	–76749	0.2627	–	[5]
2426772.3500	–	PG	–74843	0.2378	–	[5]
2427130.3100	–	PG	–73977	0.2049	–	[5]
2427343.6300	–	PG	–73461	0.2174	–	[5]
2427396.5800	–	PG	–73333	0.2539	–	[5]
2427420.5400	–	PG	–73275	0.2375	–	[5]
2427459.4600	–	PG	–73181	0.2991	–	[5]
2427505.3300	–	PG	–73070	0.2832	–	[5]
2427718.6400	–	PG	–72554	0.2857	–	[5]

Таблица 5. (Продолжение)

Эпоха максимума	Ошибка, сутки	Полоса	E	$O - C$, сутки	N	Источник данных
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
2427781.4600	—	PG	-72402	0.2709	—	[5]
2427884.3200	—	PG	-72153	0.1977	—	[5]
2429633.4500	—	PG	-67922	0.2887	—	[5]
2429634.2500	—	PG	-67920	0.2620	—	[5]
2429635.5000	—	PG	-67917	0.2718	—	[5]
2429696.3200	—	PG	-67770	0.3240	—	[5]
2430346.5600	—	PG	-66197	0.3068	—	[5]
2430731.4400	—	PG	-65266	0.3238	—	[5]
2430735.5700	—	PG	-65256	0.3199	—	[5]
2430784.3000	—	PG	-65138	0.2703	—	[5]
2430788.4400	—	PG	-65128	0.2764	—	[5]
2430791.3500	—	PG	-65121	0.2927	—	[5]
2431031.5800	—	PG	-64540	0.3451	—	[5]
2441035.2710	—	PG	-40340	0.0790	—	This paper
2441035.3040	—	PG	-40340	0.1120	—	This paper
2445978.5260	—	PG	-28382	0.0564	—	This paper
2448325.2590	—	PG	-22705	-0.0066	—	This paper
2448968.8893	0.0009	V	-21148	-0.0181	33	[6]
2448968.8908	0.0008	B	-21148	-0.0179	33	[6]
2449777.4712	0.0020	V	-19192	-0.0206	15	[39]
2451545.9359	0.0017	V	-14914	-0.0240	99	NSVS
2451574.4641	—	—	-14845	-0.0195	—	[7]
2451576.1082	0.0018	V	-14841	-0.0289	63	AAVSO
2451956.4280	—	—	-13921	-0.0248	—	[7]
2451958.4883	0.0019	V	-13916	-0.0315	91	AAVSO
2451963.4629	—	—	-13904	-0.0175	—	[7]
2452243.7151	0.0026	V	-13226	-0.0415	115	ASAS-3
2452925.3790	0.0026	V	-11577	-0.0522	115	ASAS-3
2452988.6221	0.0009	V	-11424	-0.0572	44	AAVSO
2453550.4314	0.0028	V	-10065	-0.0404	115	ASAS-3
2454010.1101	0.0016	V	-8953	-0.0476	32	INTEGRAL-OMC
2454073.7800	—	—	-8799	-0.0393	—	[40]

Таблица 5. (Продолжение)

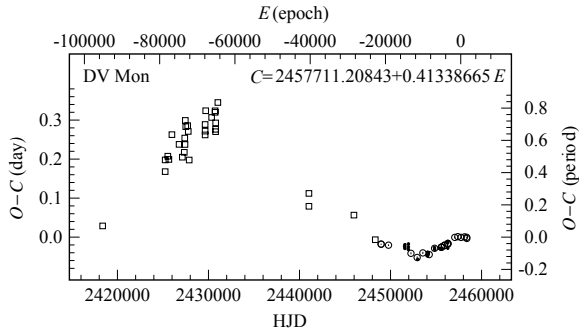
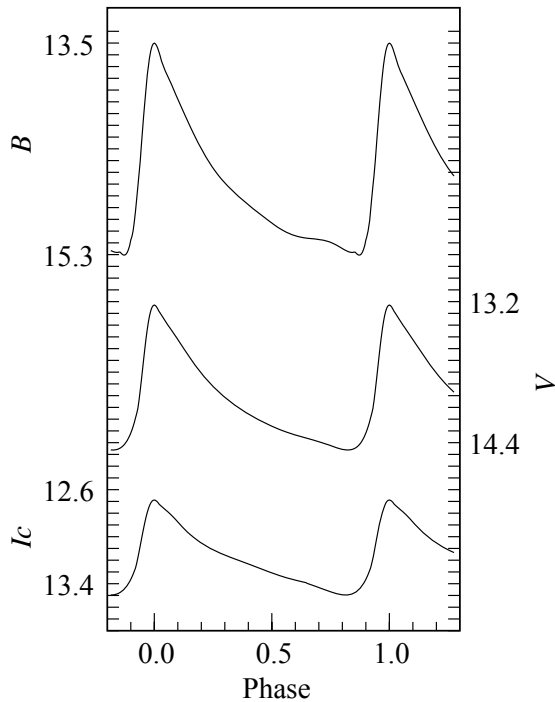
Эпоха максимума	Ошибка, сутки	Полоса	E	$O - C$, сутки	N	Источник данных
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
2454080.8080	—	—	−8782	−0.0388	—	[40]
2454085.7600	—	—	−8770	−0.0475	—	[40]
2454107.6740	—	—	−8717	−0.0430	—	[41]
2454138.6790	—	—	−8642	−0.0420	—	[41]
2454145.7080	—	—	−8625	−0.0405	—	[41]
2454249.4639	0.0023	V	−8374	−0.0447	114	ASAS-3
2454823.6760	—	—	−6985	−0.0267	—	[42]
2454841.8631	0.0021	V	−6941	−0.0285	110	ASAS-3
2454852.6080	—	—	−6915	−0.0317	—	[43]
2455386.2936	0.0013	V	−5624	−0.0283	124	INTEGRAL-OMC
2455575.6240	—	—	−5166	−0.0290	—	[44]
2455581.8315	0.0007	I_c	−5151	−0.0258	104	This paper
2455583.0682	0.0018	V	−5148	−0.0258	63	This paper
2455583.8962	0.0007	B	−5146	−0.0257	37	This paper
2455921.2248	0.0007	B	−4330	−0.0205	27	This paper
2455922.0491	0.0007	V	−4328	−0.0219	63	This paper
2455923.7068	0.0008	I_c	−4324	−0.0212	109	This paper
2456281.7030	—	—	−3458	−0.0144	—	[45]
2456286.6670	—	—	−3446	−0.0110	—	[45]
2456289.5437	0.0049	V	−3439	−0.0281	238	AAVSO
2456297.4093	0.0006	B	−3420	−0.0179	51	This paper
2456298.6532	0.0006	I_c	−3417	−0.0166	113	This paper
2456299.8904	0.0006	V	−3414	−0.0160	68	This paper
2457055.9899	0.0023	V	−1585	−0.0007	42	ASAS-SN
2457389.5948	0.0004	V	−778	0.0012	183	ASAS-SN
2457745.1055	0.0004	V	82	−0.0007	318	ASAS-SN
2458127.9028	0.0004	V	1008	0.0006	378	ASAS-SN
2458366.8392	0.0017	V	1586	−0.0005	46	ASAS-SN
2458379.2390	0.0006	g	1616	−0.0034	54	ASAS-SN

Диаграмма $O - C$ приведена на рис. 4. Незакрашенные кружки с вертикальными интервалами ошибок, которые обычно меньше размеров сим-

волов, соответствуют наиболее надежным данным остатков $O - C$ из таблицы 5 (опубликованная фотоэлектрическая фотометрия, наши собственные

Таблица 6. Эфемериды DV Единорога

Интервал дат JD	T_0 (HJD)	Период (сутки)
2418000–2438000	2424704.1225 ± 0.0090	$0.41339539 \pm 0.00000088$
2440000–2453500	2447012.3689 ± 0.0042	$0.41338145 \pm 0.00000040$
2453500–2456500	2455941.4789 ± 0.0004	$0.41339169 \pm 0.00000050$
2456500–2458400	2457711.2084 ± 0.0004	$0.41338665 \pm 0.00000038$

Рис. 4. Диаграмма $O - C$ для DV Единорога.Рис. 5. Стандартные кривые блеска DV Единорога в фильтрах B , V и I_c .

ПЗС наблюдения, ПЗС наблюдения из работы [39], а также наблюдения из каталогов ASAS-3 и ASAS-SN). Незакрашенные квадратики и точки соот-

ветствуют фотографическим эпохам максимумов блеска и прочим данным остатков $O - C$.

Диаграмму $O - C$ (рис. 4) можно представить в виде последовательности четырех прямолинейных фрагментов и такое поведение свидетельствует о трех резких изменениях периода. В таблице 6 приведены элементы изменения блеска (эфемериды) для четырех интервалов времени. В последней строке приведены текущие значения элементов изменения блеска.

Следует иметь в виду, что в случае возможного просчета эпох в течение первых двух длительных перерывов между наблюдениями на рис. 4 данные в первых двух строках таблицы 6 могут оказаться ошибочными.

На основании наших ПЗС наблюдений было установлено, что максимум блеска в фильтре B достигается на 0^d0003 раньше, чем в фильтре V , а максимум блеска в фильтре I_c достигается спустя 0^d0022 после максимума блеска в фильтре V . Мы применили эти поправки при построении диаграммы $O - C$ и построили эфемериду (таблица 6), которая такими образом относится к кривой блеска в фильтре V . Фазы кривой блеска (рис. 2), а также остатки $O - C$, представленные на рис. 4 и приведенные в таблице 5, рассчитаны по текущей эфемериде (последняя строка в таблице 6).

Отметим, что приведенные в этой статье результаты, касающиеся изменчивости периода, основаны на конкретных стандартных кривых блеска, которые мы приводим в таблице 7 (целиком эта таблица доступна в электронной версии статьи), чтобы их можно было использовать в будущих исследованиях для сравнения с нашими результатами (в случае применения исследователями других стандартных кривых). В таблице 7 приведены звездные величины DV Единорога в фильтрах B , V и I_c для значений фаз с 0 до 0.995 с шагом 0.005; эти стандартные кривые блеска, основанные на результатах наших ПЗС наблюдений (таблица 1), графически представлены на рис. 5.

Таблица 7. Стандартные кривые блеска DV Единорога в фильтрах B , V и I_c

Фаза	B	V	I_c	Фаза	B	V	I_c
0.000	13.501	13.229	12.688	0.250	14.564	13.922	13.112
0.005	13.507	13.234	12.691	0.255	14.578	13.932	13.117
0.010	13.523	13.246	12.698	0.260	14.592	13.942	13.121
0.015	13.547	13.264	12.708	0.265	14.606	13.952	13.126
0.020	13.577	13.282	12.722	0.270	14.619	13.961	13.131
0.025	13.610	13.297	12.732	0.275	14.632	13.970	13.135
0.030	13.644	13.313	12.741	0.280	14.644	13.980	13.140
0.035	13.679	13.329	12.749	0.285	14.656	13.989	13.144
0.040	13.707	13.344	12.758	0.290	14.668	13.997	13.148
0.045	13.729	13.360	12.767	0.295	14.679	14.006	13.152
0.050	13.752	13.375	12.776	0.300	14.691	14.014	13.156
0.055	13.774	13.391	12.784	0.305	14.701	14.023	13.160
0.060	13.797	13.406	12.793	0.310	14.712	14.031	13.164
0.065	13.820	13.420	12.802	0.315	14.722	14.039	13.168
0.070	13.842	13.434	12.811	0.320	14.733	14.047	13.172
0.075	13.865	13.448	12.821	0.325	14.743	14.054	13.176
0.080	13.887	13.463	12.832	0.330	14.752	14.062	13.180
0.085	13.910	13.478	12.842	0.335	14.762	14.069	13.184
0.090	13.932	13.493	12.853	0.340	14.771	14.076	13.187
0.095	13.955	13.507	12.864	0.345	14.781	14.084	13.191
0.100	13.977	13.523	12.875	0.350	14.790	14.091	13.195
0.105	14.000	13.538	12.886	0.355	14.799	14.098	13.198
0.110	14.022	13.553	12.896	0.360	14.807	14.104	13.202
0.115	14.045	13.568	12.907	0.365	14.816	14.111	13.206
0.120	14.067	13.583	12.918	0.370	14.825	14.118	13.210
0.125	14.089	13.598	12.929	0.375	14.833	14.124	13.213
0.130	14.112	13.613	12.940	0.380	14.842	14.131	13.217
0.135	14.134	13.628	12.950	0.385	14.850	14.137	13.221
0.140	14.156	13.643	12.959	0.390	14.858	14.143	13.225
0.145	14.177	13.658	12.968	0.395	14.867	14.149	13.228
0.150	14.199	13.672	12.977	0.400	14.875	14.156	13.232
0.155	14.220	13.687	12.985	0.405	14.883	14.161	13.236
0.160	14.241	13.701	12.994	0.410	14.891	14.167	13.240
0.165	14.262	13.715	13.002	0.415	14.899	14.173	13.243

Таблица 7. (Продолжение)

Фаза	B	V	I_c	Фаза	B	V	I_c
0.170	14.283	13.729	13.010	0.420	14.908	14.179	13.247
0.175	14.303	13.743	13.018	0.425	14.916	14.185	13.251
0.180	14.323	13.756	13.025	0.430	14.924	14.190	13.255
0.185	14.343	13.770	13.033	0.435	14.932	14.196	13.259
0.190	14.362	13.783	13.040	0.440	14.940	14.201	13.263
0.195	14.381	13.795	13.047	0.445	14.948	14.206	13.266
0.200	14.400	13.808	13.054	0.450	14.956	14.212	13.270
0.205	14.418	13.821	13.060	0.455	14.964	14.217	13.274
0.210	14.436	13.833	13.066	0.460	14.972	14.222	13.278
0.215	14.453	13.845	13.073	0.465	14.980	14.227	13.282
0.220	14.470	13.856	13.079	0.470	14.988	14.232	13.286
0.225	14.487	13.868	13.085	0.475	14.995	14.237	13.289
0.230	14.503	13.879	13.090	0.480	15.003	14.242	13.293
0.235	14.519	13.890	13.096	0.485	15.010	14.247	13.297
0.240	14.534	13.901	13.101	0.490	15.018	14.251	13.301
0.245	14.550	13.911	13.106	0.495	15.025	14.256	13.304
0.500	15.033	14.260	13.308	0.750	15.196	14.425	13.469
0.505	15.040	14.265	13.312	0.755	15.200	14.429	13.472
0.510	15.047	14.269	13.315	0.760	15.204	14.432	13.475
0.515	15.054	14.273	13.319	0.765	15.209	14.436	13.478
0.520	15.060	14.278	13.322	0.770	15.214	14.439	13.481
0.525	15.067	14.282	13.326	0.775	15.219	14.443	13.484
0.530	15.073	14.286	13.329	0.780	15.225	14.446	13.487
0.535	15.080	14.290	13.332	0.785	15.231	14.449	13.489
0.540	15.085	14.294	13.335	0.790	15.237	14.452	13.491
0.545	15.091	14.297	13.339	0.795	15.243	14.454	13.493
0.550	15.097	14.301	13.342	0.800	15.248	14.457	13.494
0.555	15.102	14.305	13.345	0.805	15.254	14.459	13.495
0.560	15.108	14.308	13.348	0.810	15.260	14.460	13.496
0.565	15.112	14.312	13.351	0.815	15.265	14.462	13.496
0.570	15.117	14.315	13.354	0.820	15.270	14.462	13.496
0.575	15.122	14.319	13.356	0.825	15.274	14.462	13.495
0.580	15.126	14.322	13.359	0.830	15.278	14.462	13.493
0.585	15.130	14.325	13.362	0.835	15.280	14.461	13.491

Таблица 7. (Продолжение)

Фаза	B	V	I_c	Фаза	B	V	I_c
0.590	15.133	14.328	13.365	0.840	15.281	14.459	13.488
0.595	15.137	14.331	13.367	0.845	15.281	14.455	13.484
0.600	15.140	14.334	13.370	0.850	15.278	14.451	13.479
0.605	15.143	14.337	13.372	0.855	15.280	14.446	13.474
0.610	15.146	14.340	13.374	0.860	15.290	14.439	13.467
0.615	15.148	14.343	13.377	0.865	15.300	14.431	13.459
0.620	15.151	14.346	13.379	0.870	15.304	14.421	13.450
0.625	15.153	14.349	13.382	0.875	15.304	14.410	13.439
0.630	15.155	14.352	13.384	0.880	15.296	14.396	13.428
0.635	15.156	14.355	13.386	0.885	15.281	14.380	13.414
0.640	15.158	14.357	13.389	0.890	15.257	14.362	13.399
0.645	15.159	14.360	13.391	0.895	15.224	14.342	13.382
0.650	15.160	14.363	13.397	0.900	15.175	14.318	13.363
0.655	15.162	14.366	13.401	0.905	15.144	14.292	13.342
0.660	15.163	14.369	13.404	0.910	15.096	14.262	13.319
0.665	15.164	14.371	13.408	0.915	15.018	14.229	13.293
0.670	15.165	14.374	13.411	0.920	14.931	14.190	13.267
0.675	15.165	14.377	13.415	0.925	14.832	14.153	13.227
0.680	15.167	14.380	13.418	0.930	14.717	14.110	13.180
0.685	15.167	14.383	13.422	0.935	14.620	14.040	13.130
0.690	15.168	14.386	13.425	0.940	14.506	13.957	13.078
0.695	15.170	14.389	13.429	0.945	14.369	13.869	13.026
0.700	15.171	14.392	13.433	0.950	14.239	13.778	12.974
0.705	15.172	14.395	13.436	0.955	14.112	13.686	12.924
0.710	15.174	14.398	13.440	0.960	13.992	13.596	12.876
0.715	15.176	14.402	13.444	0.965	13.883	13.512	12.833
0.720	15.178	14.405	13.447	0.970	13.779	13.436	12.794
0.725	15.180	14.408	13.451	0.975	13.689	13.371	12.761
0.730	15.183	14.412	13.455	0.980	13.619	13.318	12.734
0.735	15.186	14.415	13.458	0.985	13.566	13.277	12.713
0.740	15.189	14.418	13.462	0.990	13.529	13.250	12.699
0.745	15.192	14.422	13.465	0.995	13.507	13.234	12.691

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Нами получены 635 ПЗС кадров в фильмах BVI_c области переменной типа RR Лирь

(подтип ab) DV Единорога, вблизи которой на расстоянии $1''9$ находится оптический компа-

нзон, яркость которого сравнима с яркостью DV Единорога в максимуме блеска. Наши наблюдения позволили впервые разрешить эту пару звезд и получить надежную фотометрию и координаты для обоих компонентов.

- Мы построили диаграмму $O - C$ для DV Единорога, охватывающую период времени длительностью 110 лет, что позволило выявить три резких изменения периода звезды, произошедших около JD 2438000, 2453500 и 2456500.

БЛАГОДАРНОСТИ

В данной работе использовались наблюдения, выполненные на Южноафриканской обсерватории (SAAO), поддержанной Национальным научным фондом Южной Африки. В работе использовались данные проектов NSVS, ASAS-3, ASAS-SN и INTEGRAL-ОМС, а также данные из Международной базы данных Американской ассоциации переменных звезд (AAVSO), полученные наблюдателями всего мира. Мы также благодарим астронома телескопа SALT д-ра Даниэль Н. Грюнвальд за помощь с наблюдениями на спектрографе HRS.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Все спектральные наблюдения, приведенные в данной статье, выполнены на телескопе SALT (Southern African Large Telescope) в рамках программ 2015-2-SCI-043, 2016-1-MLT-003 and 2018-2-MLT-004 (рук. Алексей Князев). А. Ю. Князев благодарит Национальный научный фонд Южной Африки за поддержку. Это исследование поддержано Российским фондом фундаментальных исследований (гранты 18-02-00890 и 19-02-00611). Иван Катков благодарит Российский научный фонд (грант 17-72-20119) и Ведущую научную школу по астрофизике (направление – внегалактическая астрономия) Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова за поддержку.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. L.N. Berdnikov, A.Yu. Kniazev, R. Sefako, et al., *The Observatory* **131**, 315 (2011a)
2. L.N. Berdnikov, A.Yu. Kniazev, R. Sefako, et al., *The Observatory* **131**, 386 (2011b)
3. L.N. Berdnikov, A.K. Dambis, A.Yu. Kniazev, et al., *The Observatory* **134**, 206 (2014)
4. C. Hoffmeister, *Astron. Nachr.* **259**, 37 (1936)
5. P. Ahnert, C. Hoffmeister, E. Rohlfs, et al., *Vereoff. Sternwarte Sonneberg* **1**, 342 (1949)
6. A.C. Layden, *PASP* **109**, 524 (1997)
7. M. Martignoni, *J. Amer. Assoc. Var. Star Observers* **32**, 26 (2004)
8. A.W.J. Cousins, *MemRAS* **81**, 25 (1976)
9. L.N. Berdnikov, O.V. Vozyakova, A.Yu. Kniazev, et al., *Astron. Rep.* **56**, 290 (2012)
10. D.G. Monet, S.E. Levine, B. Canzian, et al., *AJ* **125**, 984 (2003)
11. D. A. H. Buckley, G. P. Swart, J. G. Meiring, J.G., *SPIE*, 6267 (2006)
12. D. O'Donoghue et al. *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* , **372**, 151 (2006)
13. S. I. Barnes et al., *SPIE* 7014, 70140K (2008)
14. D. G. Bramall, et al., *SPIE* 7735, 77354F (2010)
15. D. G. Bramall, et al., *SPIE* 8446, 84460A (2012)
16. L. A. Crause, et al., *SPIE* 9147, 91476T (2014)
17. S. M. Crawford et al., in Silva D. R., Peck A. B., Soifer B. T., *Proc. SPIE Conf. Ser. Vol. 7737, Observatory Operations: Strategies, Processes, and Systems III*. SPIE, Bellingham, p. 773725 (2010)
18. A. Kniazev, V. Gvaramadze & L. Berdnikov, *MNRAS*, **459**, 3068 (2016)
19. A. Kniazev et al. (2019), in preparation
20. I. Katkov et al. (2019), in preparation
21. Coelho P. R. T., *MNRAS*, **440**, 1027 (2014)
22. Gaia Collaboration, A. G. A. Brown, A. Vallenari, et al., *Astron. and Astrophys.* , **616**, 1 (2018)
23. X. Luri, A. G. A. Brown, L. M. Sarro, et al., *Astron. and Astrophys.* , **616**, 9 (2018)
24. J. C. Zinn, M. H. Pinsonneault, D. Huber, et al., *arXiv:1805.02650* (2018)
25. A. G. Riess, S. Casertano, W. Yuan, et al., *Astrophys. J.* , **861**, 126 (2018)
26. L. N. Yalyalieva, A. A. Chemel, E. V. Glushkova, A. K. Dambis, A. D. Klinichev, *Astrophys. Bull.* **73**, 335 (2018)
27. G. M. Green, E. F. Schlafly, D. P. Finkbeiner et al., *ApJ* **783**, 114 (2014)
28. G. M. Green, E. F. Schlafly, D. P. Finkbeiner et al., *MNRAS* **478**, 651 (2018)
29. A. K. Dambis, L. N. Berdnikov, A. Y. Kniazev, V. V. Kravtsov, A. S. Rastorguev, R. Sefako, O. V. Vozyakova, *MNRAS* **435**, 3206 (2013)
30. G. F. Benedict, B. E. McArthur, M. W. Feast et al., *AJ* **142**, 187 (2011)
31. E. Hertzsprung, *Astron. Nachr.* **210**, 17 (1919)
32. L.N. Berdnikov, *Soviet Astronomy Letters* **18**, 207 (1992)
33. G. Pojmanski, *Acta Astron.* **52**, 397 (2002)
34. B.J. Shappee, J.L. Prieto, D. Grupe, et al., *ApJ* **788**:48, (2014)
35. C.S. Kochanek, B.J. Shappee, K.Z. Stanek, et al., *PASP* **129**:104502 (2017)
36. J. Alfonso-Garzon, A. Domingo, J.M. Mas-Hesse, et al., *A&A* **548**, A79 (2012)
37. P.R. Wozniak, W.T. Vestrand, C.W. Akerlof, et al., *AJ* **127**, 2436 (2004)
38. S. Kafka, S., *The AAVSO International Database*. <https://www.aavso.org>.(2018)

39. E.G. Schmidt and A. Seth, *AJ* **112**, 2769 (1996)
40. J.F. Le Borgne, A. Klotz, M. Boer, *IBVS* №5767 (2007a)
41. J.F. Le Borgne, A. Klotz, M. Boer, *IBVS* №№5790 (2007b)
42. J.F. Le Borgne, A. Klotz, M. Boer, *IBVS* №5877 (2009a)
43. J.F. Le Borgne, A. Klotz, M. Boer, *IBVS* №5895 (2009b)
44. J.F. Le Borgne, A. Klotz, M. Boer, *IBVS* №6009 (2012)
45. J. F. Le Borgne, A. Klotz, and M. Boer, *Inform. Bull. Variable Stars*, № 6043 (2013).

CCD Observations and Period Change of the Type ab RR Lyrae Star DV Mon

L. N. Berdnikov, A. Yu. Kniazev, A. K. Dambis, V. V. Kravtsov, E. N. Pastukhova, and I. Y. Katkov

We took a total of 635 B -, V -, and I_c -band CCD frames for the RRab Lyr type variable DV Mon, which has a close bright visual companion with a separation of about $1.9''$. Observations were made with the 76-cm telescope of the South African Astronomical Observatory (SAAO, South Africa) using SBIG CCD ST-10XME. For the first time, we obtained reliable separate PSF-photometry of both stars and determined their coordinates. We used all available data to construct the $O - C$ diagram spanning a 110-year long time interval, which allowed us to reveal at least three sudden changes of the pulsation period around JD 2438000, 2453500, and 2456500. Our high resolution echelle spectra with the Southern African Large Telescope (SALT) showed that DV Mon belongs to type ab RR Lyrae variables of the Galactic thick disk.

Keywords: stars: variables: RR Lyrae