

Ренат ГАЙСИН,

Астрономический институт АН РУз, младший научный сотрудник

E-mail: renat@astrin.uz

Tel: (90) 984 72 18

Ривкат КАРИМОВ,

Астрономический институт АН РУз, младший научный сотрудник

E-mail: rivkat@astrin.uz

Отабек БУРХОНОВ,

Астрономический институт АН РУз, заведующий лабораторией

«Галактическая астрономия», старший научный сотрудник

E-mail: boa@astrin.uz

Баходир ХАФИЗОВ,

Астрономический институт АН РУз, младший научный сотрудник

E-mail: bahadirhafizov@rambler.ru

Рецензент Заведующий кафедрой Астрономии и астрофизики НУУз Ахунув Т.А.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТОВ МИНИМУМОВ ЗАТМЕННО-ПЕРЕМЕННОЙ ЗВЕЗДЫ ZTF-J235103.06+615610.6

Проведены удаленные наблюдения затменно-переменной звезды типа W Большой Медведицы ZTF-J235103.06+615610.6 с помощью автоматизированного телескопа АМТ-1 Майданакской астрономической обсерватории. Определены 19 новых моментов минимумов, построена диаграмма (O-C), уточнены линейные эфемериды системы.

Ключевые слова: фотометрия, переменные звезды, кратные системы, моменты минимумов, эфемериды.

TUTILUVCHI-O'ZGARIVCHAN ZTF-J235103.06+615610.6 YULDUZINING MINIMUM MOMENTALARI ANIQLASH

Maydanak astronomik observatoriyasining АМТ-1 avtomatlashtirilgan teleskopi yordamida Katta Ayyiq yulduz turkumining W tipidagi ZTF-J235103.06+615610.6 tutiluvchi-o'zgarivchan yulduzining kuzatuvlari masofadan turib amalga oshirildi. Minimumlarning yangi 19 ta momenti aniqlandi, O-C diagrammasi tuzildi, tizimning chiziqli efemeridlari aniqlashtirildi.

Kalit so'zlari: fotometriya, o'zgaruvchan yulduzlar, bir nechta tizimlar, minima momentlari, efemeridlar.

DETERMINATION OF THE TIMES OF MINIMA OF AN ECLIPSING VARIABLE STAR ZTF-J235103.06+615610.6

Remote observations of the W Ursa Major type eclipsing variable star ZTF-J235103.06+615610.6 were carried out using the АМТ-1 automated telescope of the Maidanak Astronomical Observatory. 19 new times of minima were determined, a (O-C) diagram was constructed, linear ephemerides of the system were refined.

Key words: photometry, variable stars, multiple systems, minima moments, ephemerides.

Введение. Наблюдения моментов минимумов в системах затменно-двойных звезд, последующее отслеживание их изменений позволяют качественно улучшить знания о таких системах, уточнить их параметры и находить возможные периодические эволюционные изменения, происходящее в них. В этом отношении такие наблюдения дают важную информацию для будущих, более глубоких и детальных исследований.

Литературный обзор. В данной работе представлены новые моменты минимумов затменно-двойной системы ZTF-J235103.06+615610.6. ($RA=23^h51^m03.06^s$ $DEC=+61^{\circ}56'10.6''$) типа EW Большой Медведицы, обнаруженной в рамках широкоугольного астрономического обзора неба в 2018 году на 48-дюймовом телескопе Шмидта Паломарской обсерватории в Калифорнии, США, ZTF (Zwicky Transient Facility) ([1-3]). ZTF – это обзор за всем видимым северным небом, охватывающий площадь от 25 000 до 30 000 квадратных градусов, телескопом с полем зрения 47 квадратных градусов в g - и r -полосах. Предельная медианная звездная величина (в r -полосе) $\sim 20,6^m$ при экспозиции 30 секунд [1]. Данный объект идентифицирован как источник 2012779695347439232 в каталоге Gaia DR3 [4], TIC470738547 в каталоге TESS [5], обозначен как затменно-двойная звезда KISOJ235103.06+615610.6 в каталоге KISOGP [6]. По данным ZTF период переменности данного объекта составляет 0.270036 суток или 6.480864 часов.

Методология исследования. В нашей работе наблюдения этой переменной звезды проводились удаленно на автоматизированном телескопе АМТ-1 Майданакской астрофизической обсерватории Астрономического института АН РУз [7] в период с 26 августа по 04 сентября 2021 года, включительно (см. Таблица 1). АМТ-1 – это 50-см. телескоп с скорректированной оптической системой Ричи-Кретьена, оснащенный ПЗС приемником Arogee Alta-U16M (2K×2K) и набором светофильтров. Наблюдения объекта проводились с использованием светофильтра R. Карта поля с отмеченным объектом представлена на рисунке 1. Для предварительной обработки данных использовался программный пакет обработки астрономических изображений IRAF [8].

Фотометрия и анализ построенных кривых блеска объекта проводились с использованием программы VaST [9] – программном инструменте для поиска переменных объектов на серии астрономических изображений. VaST позволяет проводить поиск периодических сигналов методом Лафлера-Кинмана [10] – давно известный эффективный метод анализа временных рядов, опробованный его авторами на цефеидах или звездах типа RR Лиры. Далее проводилась работа с кривыми блеска (устранение трендов, нормализация кривых блеска, удаление очевидных систематических вариаций) для их последующего анализа с целью определения моментов минимумов.

Для определения моментов минимумов использовался метод, предложенный в работе [11], основанный на наборе феноменологических моделей кривых блеска затменно-переменных звезд описываемых посредством суммы

специальных аналитических функций с малым количеством параметров, которые позволяют аппроксимировать изучаемые кривые блеска с точностью более 1%.

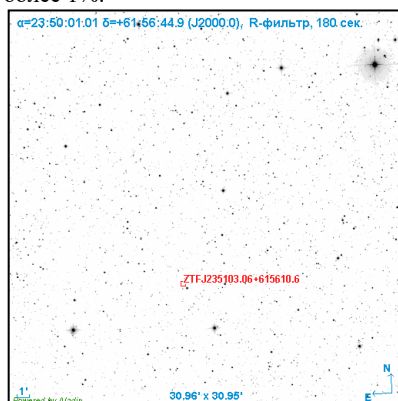


Рисунок –1. Откалиброванное цифровое изображение (негатив) участка неба, полученное на телескопе АМТ-1 Майданакской астрофизической обсерватории (МАО), с отмеченным на нем объектом ZTF-J235103.06+615610.6.

Таблица – 1. Информация о проведенных наблюдениях объекта ZTF-J235103.06+615610.6.

Дата	Фильтр	Время экспозиции	Время начала наблюдений (HJD)	Время окончания наблюдений (HJD)	Количество кадров
2021-8-26	R	180	2459453.22893	2459453.50182	57
2021-8-27	R	180	2459454.13780	2459454.46422	50
2021-8-28	R	180	2459455.13064	2459455.50486	43
2021-8-29	R	180	2459456.16695	2459456.50013	44
2021-8-30	R	180	2459457.13985	2459457.49042	44
2021-8-31	R	180	2459458.14366	2459458.50633	44
2021-9-01	R	180	2459459.12698	2459459.49846	46
2021-9-02	R	180	2459460.13559	2459460.50005	60
2021-9-03	R	180	2459461.14181	2459461.50876	49
2021-9-04	R	180	2459462.12748	2459462.50306	56

Наблюденные моменты минимумов приведены в табл.2. В столбцах 1 и 2 таблицы указаны гелиоцентрические Юлианские даты минимумов и ошибки их определений, в третьем столбце указан тип минимумов (первичный – I, вторичный – II). Типы минимумов были определены в соответствии с эфемеридой, опубликованной командой ZTF:

$$\text{Min. I HJD} = 2458282.965 + 0.270036 * E$$

Эта эфемерида использовалась для определения эпохи и построения (O-C) диаграммы [12] (см. Рис.2).

Анализ и результаты. Наши знания об изменениях периодов в тесных двойных системах в основном базируются на анализе их (O-C)-диаграмм. Метод O-C (наблюдаемое минус вычисленное) является классическим методом изучения изменений периода переменных звезд. Диаграммы (O-C) сравнивают наблюдаемое время максимальной яркости O с расчетным временем C, предполагая известный постоянный период. Основной целью построения и анализа (O-C) диаграмм является поиск периодических и знакопеременных изменений периода, причиной которых являются движение аписид или наличие третьего тела в системе. В ином случае, отсутствие периодических изменений периода и наличие линейных трендов на диаграммах (O-C) свидетельствует о необходимости корректировки линейных эфемерид системы, и уточнения нулевой эпохи и периода. Важным при построении и последующем анализе (O-C) диаграмм является качество наблюдательного материала и охватываемый ими временной интервал. Поскольку эта система была открыта относительно недавно, для неё отсутствуют временные ряды, полученные другими авторами, и позволяющие определить большее количество экстремумов для построения более информативной диаграммы (O-C). В данной работе для расчета линейных эфемерид использовались только моменты минимумов определенные по наблюдениям, полученным нами на Майданакской обсерватории (см. Таблицу 2), поскольку наблюдения, проведенные в рамках обзора ZTF, были получены с низкой скважностью, что не позволяет определить моменты минимумов по их наблюдениям. Поскольку на (O-C) диаграмме прослеживается положительный наклон, моменты минимумов представленные здесь были пересчитаны методом наименьших квадратов для уточнения линейных эфемерид системы:

$$\text{Min. I HJD} = 2458282.965(9448) + 0.270037(17) * E$$

Фазовая кривая блеска ZTF-J235103.06+615610.6, свернутая с уточненным периодом по данным наших наблюдений, представлена на рисунке 3.

Таблица – 2. Моменты минимумов затменно-переменной звезды ZTF-J235103.06+615610.6.

Минимум	Ошибка	Тип	Минимум	Ошибка	Тип
2459453.2973531	0.0018331	I	2459459.2473593	0.0007638	I
2459453.4412383	0.0015043	II	2459459.3764935	0.0022829	II
2459454.2509121	0.0016155	II	2459460.1974655	0.0021037	II
2459454.3837761	0.0013075	I	2459460.3238655	0.0021876	I
2459455.3251102	0.0019905	II	2459460.4635567	0.0023902	II
2459456.2698647	0.0026944	I	2459461.2701300	0.0020813	II

2459456.4156002	0.0027255	II	2459461.3969187	0.0022929	I
2459457.2202415	0.0024403	II	2459462.2074433	0.0028942	I
2459457.3535556	0.021359	I	2459462.3517233	0.0016298	II
2459458.3092784	0.0011662	II			

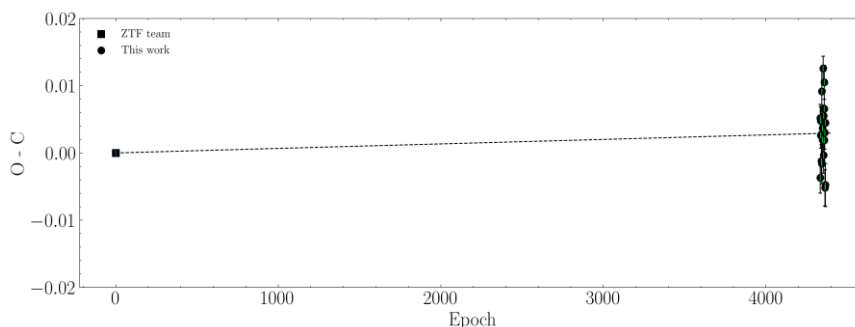


Рисунок –2. Диаграмма (O-C) затменно-переменной звезды ZTF-J235103.06+615610.6.

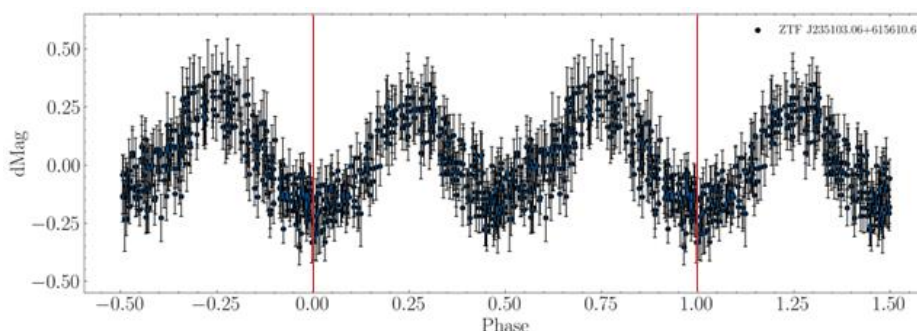


Рисунок –3. Фазовая кривая блеска ZTF J235103.06+615610.6.

Заключение. Проведенные нами оптические наблюдения на телескопе АМТ-1 Майданакской астрофизической обсерватории Астрономического института АН РУз в период с 26 августа по 04 сентября 2021 года и уточненный по ним период изменения блеска показали, что полученное значение периода совпадает со значением, определенным группой ZTF в пределах ошибок. На основе проведенных нами фотометрических наблюдений затменно-переменной звезды ZTF-J235103.06+615610.6, определены новые моменты минимумов. Как уже было сказано выше, поскольку наблюдения, проведенные в рамках обзора ZTF, были получены с низкой скважностью, они не позволили определить моменты минимумов по их наблюдениям. Наше исследование заполнило один из пробелов по доступным данным этой звездной системы. Анализ (O–C) диаграммы показал, что в ZTF-J235103.06+615610.6 прослеживается положительный наклон, что косвенно может свидетельствовать о необходимости коррекции известной по обзору ZTF начальной нулевой эпохи. Используя апробированную аналогичными исследованиями методику нами уточнены линейные эфемериды, нулевая эпоха и период.

ЛИТЕРАТУРА

1. Chen X. et al. The Zwicky Transient Facility Catalog of Periodic Variable Stars // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 2020. Vol. 249. P. 18.
2. Bellm E.C. et al. The Zwicky Transient Facility: Surveys and Scheduler // *Publ. Astron. Soc. Pac.* 2019. Vol. 131. P. 068003.
3. Bellm E.C. et al. The Zwicky Transient Facility: System Overview, Performance, and First Results // *Publ. Astron. Soc. Pac.* 2019. Vol. 131. P. 018002.
4. Gaia Collaboration et al. Gaia Data Release 3. Summary of the content and survey properties // *Astron. Astrophys.* 2023. Vol. 674. P. A1.
5. Stassun K.G. et al. The Revised TESS Input Catalog and Candidate Target List // *Astron. J.* 2019. Vol. 158. P. 138.
6. Ren F. et al. Eclipsing Binary Populations across the Northern Galactic Plane from the KISOGP Survey // *Astron. J.* 2021. Vol. 161. P. 176.
7. Ehgamberdiev S. Modern astronomy at the Maidanak observatory in Uzbekistan // *Nat. Astron.* 2018. Vol. 2. P. 349–351.
8. IRAF 2.17.1 [Electronic resource] // IRAF Community Distribution. URL: <https://iraf-community.github.io/>.
9. Sokolovsky K.V., Lebedev A.A. VaST: A variability search toolkit // *Astron. Comput.* 2018. Vol. 22. P. 28–47.
10. Laffler J., Kinman T.D. An RR Lyrae Star Survey with the Lick 20-INCH Astrograph II. The Calculation of RR Lyrae Periods by Electronic Computer. // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 1965. Vol. 11. P. 216.
11. Mikulášek Z. Phenomenological modelling of eclipsing system light curves // *Astron. Astrophys.* 2015. Vol. 584. P. A8.
12. Sterken C. The O-C Diagram: Basic Procedures. 2005. Vol. 335. P. 3.