

УДК 524.335.2

ПЗС-фотометрия звезд типа RV-TAU. II. AC HERCULIS

В.И. Бурнашев¹, Б.А. Бурнашева¹, Н.А. Горыня², Н.Н. Самусь², М.Е. Сачков²

¹ Крымская Астрофизическая Обсерватория, 98409, Украина, Крым, Научный

² Институт Астрономии РАН, 119017, Россия, Москва, Пятницкая, 48.

Поступила в редакцию 24 мая 2003 г.

Аннотация. В течение наблюдательных сезонов 2000 и 2002 гг. с помощью ПЗС-фотометров выполнены фотометрические наблюдения переменной звезды *AC Her*.

Анализ этих наблюдений вместе с литературными данными подтвердил среднее значение основного цикла переменности $P = 75^{\text{d}}.424$ на протяжении почти 104 лет.

Периодичность изменения длительности основного цикла исследована по совокупности значений $O - C$ для основного цикла. Характерное время его изменений составляет $\Pi = 9491^{\text{d}}$.

Изменения блеска, связанные с этим периодом, так же, как и с орбитальным движением, в среднем не превышают $0^{\text{m}}.1$.

На основании квазиодновременных измерений лучевой скорости и блеска модифицированным методом Весселинка оценен средний радиус звезды $R = 22 \pm 8$ солнечных радиусов.

CCD-PHOTOMETRY OF THE RV-TAU STARS.II. AC HERCULIS, by V.I. Burnashev, B.A. Burnasheva, N.A. Gorynia, N.N. Samus, M.E. Sachkov. The photometric observations of the *RV Tau*-type star *AC Her* was carried out in 2000 – 2002. Those data and other published results allow to assert that besides the common cycle $P = 75^{\text{d}}.424$, may be probable of the existence of the secondary period $\Pi = 9491^{\text{d}}$.

On the base of Wesselink's method the mean radii of the star is $R = 22 \pm 8$ solar radii.

Ключевые слова: CCD-photometry, RV-Tau stars, AC Herculis

Переменные типа *RV Tau* представляют собой немногочисленный класс маломассивных ($M \simeq 1M_{\odot}$) пульсирующих F–K-сверхгигантов ($M_v = -3 \div -5$).

По современным представлениям эти звезды находятся на кратковременной эволюционной стадии перехода от красного гиганта к протопланетарной туманности, что и объясняет немногочисленность звезд этого типа переменности.

AC Her – одна из наиболее ярких, и поэтому хорошо изученных звезд типа *RV Tau*. Ее переменность была открыта мисс Дороти Эшплгейт в 1921 году (Бейли, 1921). Лейнер (1923) получил ряд визуальных оценок блеска и определил, что эта переменная принадлежит к классу *RV Tau*-звезд.

По классификации ОКПЗ фотометрический тип переменности звезды – *RVa*, т.е. *AC Her* характеризуется более или менее стабильной кривой блеска, напоминающей кривые затменных типа β *Lyr*. При этом значения периода варьируются от $P = 75^{\text{d}}.01$ (Накагири, Ямашита, 1979) до $P = 75^{\text{d}}.69$ (Эгген, 1961; Престон и др., 1963).

По спектральному типу переменности, введенному Престоном и др. (1963), звезда входит в группу *B*, – т.е. группу спектрально-пекулярных звезд. Спектр особенно отличается от спектров нормальных сверхгигантов в области 3800 – 4000Å. Из спектрополяриметрических наблюдений следует,

что поляризация наибольшая в момент подъема блеска после первичного минимума. Между тем, анализ всех наблюдений не позволяет принять окончательного вывода, наблюдается ли в данном случае чистое рассеяние на пыли или мы имеем фотосферное рассеяние.

На основе многочисленных инфракрасных наблюдений установлено, что *AC Her* обладает значительным инфракрасным избытком, обусловленным излучением пылевой оболочки, прямое изображение которой размером около $0.6''$ получили Джура и др. (2000). Наблюдения в широком спектральном диапазоне, от вакуумного ультрафиолета до 100 мкм, показали, что пылевая оболочка состоит, по крайней мере, из двух разных оболочек, состоящих из карбида кремния и силикатов.

Двойственность *AC Her* заподозрил Сэнфорд (1955). Современные наблюдения, выполненные Ван-Винкелем и др. (1998) подтвердили это предположение и позволили уточнить период изменения лучевой скорости, обусловленной двойственностью, $P = 1194^d$ ($P = 1240^d$ у Сэнфорда).

Звезда имеет низкое содержание металлов, $[Fe/H] = -1.10$ (Вальгрэн и др., 1992), или даже $Fe/H = -1.25$ (Борисов, Панчук, 1986) и в то же время показывает избыток углерода ($-0.9 \div -1.25$). На эволюционный статус *AC Her*, как post-AGB – объекта указывает ее пекулярный химический состав: увеличенное содержание углерода и его изотопный состав: $C^{12}/C^{13} \simeq 5$, а, кроме того, истощение некоторых элементов, которые конденсируются в частички пыли (Гонсалес и др., 1997; Гириджар и др., 1998)

Звезда находится сравнительно высоко над галактической плоскостью ($b = +15^\circ$) и, соответственно, испытывает малое межзвездное поглощение ($E_{B-V} = 0.14$).

1 Наблюдения и редукции

Фотометрические исследования этой переменной имеют богатую историю, кратко резюмированную в таблицах 1 и 2, где указаны период наблюдений в соответствующей фотометрической системе, число измерений и литературный источник.

Более подробно эти таблицы будут описаны нами далее. Отметим только, что наблюдения, содержащиеся в массиве данных AFOEV, который начинается с июня 1978 года, включают в себя также и измерения французских наблюдателей, публиковавшихся в свое время в *Journal de'Observateurs*.

Фотометрические наблюдения переменной *ACHer* в системе, близкой к *BVR* Джонсона, были выполнены в 2000 году в Крымской астрофизической обсерватории с помощью ПЗС-фотометра, установленного на 20-см максутовском телескопе АЗТ-7. (Бурнашев и др., 2002)

На рисунке 1 показана карта окрестностей этой переменной звезды. Карта представляет собой участок небесной сферы размером $1^\circ \times 1^\circ$, скопированный из атласа Ференберга (1970). Переменная обозначена значком “v” звезда сравнения и контрольная звезда, отмеченные на рисунке как “c1” и “c2”, применялись многими исследователями (Престон и др., 1963; ДюПюи, 1973; Ерлексова и др., 1986).

Более подробно окрестности переменной и звезд сравнения показаны на рисунках 1б и 1в, которые представляют собой рабочие кадры, снятые в одну из наблюдательных ночей в 2002 году, когда был выполнен другой ряд наблюдений в системе, близкой к *BVR_cI_c* Крона-Казинса.

Эти наблюдения проведены летом 2002 года с другим ПЗС-фотометром, построенном на основе матрицы фирмы AROGEE, и установленном в прямом фокусе 70-см телескопа АЗТ-8. Фотометрическая система этого фотометра реализована с помощью комбинации отечественных светофильтров.

Кадры примерно ориентированы по небесным координатам. Размер каждого кадра соответствует площадке $15' \times 15'$ на небесной сфере.

Учет различных инструментальных эффектов и редукция наблюдений к стандартной системе выполнена при помощи пакета стандартных программ IRAF/DAOPHOT (Стетсон, 1987).

Определение коэффициентов перехода к стандартной системе и другие редукции аналогичны описанным нами ранее (Бурнашев и др., 2002).

Для целей фотометрической привязки были проведены наблюдения стандартных звезд из списка Ландольта (1992) в двух экваториальных площадках, SA 197 и SA 110.

Таблица 1.

| JD 2400000+ | Фотометрическая система | Количество наблюдений | Автор |
|-----------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 14464 – 30580 | m_{pg} | 2546 (2583) | Пэйн-Гапошкина и др.1943 |
| 33347.94 – 33448.79 | m_{pg} | 14 | Розино, 1951 |
| 23523.200 – 23828.116 | m_{vis} | 663 (708) | Захаров, 1928 |
| 23880.49 – 25784.42 | m_{vis} | 320 | Бейер, 1931 |
| 25799 – 25853 | m_{vis} | 37 (41) | Паренаго, 1938 |
| 43660.5 – 52456.4 | m_{vis} | 8808 | AAVSO, Вааген, 2004 |
| 32772.73 – 33131.73 | BV | 28 | Эгген, 1961 |
| 37443.85 – 37625.61 | UBV | 34 | Престон и др,1963 |
| 37860.740 – 37891.828 | UVBY | 2 | Виллиамс, 1966 |
| 39258 – 39260 | UBV | 1 | Эгген,1967 |
| 40711.76 – 41124.67 | UBVR | 24 | Дю-Пюи,1973 |
| 42165.20 – 43973.27 | UBV | 79 | Накагири,Ямашита,1979 |
| 42372 – 42887 | BV | 8 | Доусон,1979 |
| | DDO | 10 | |
| 44517.54 | UBV | 1 | Доусон,Паттерсон,1982 |
| 45104.9 – 45248.8 | BV | 26 | Карделли, 1985 |
| 44063 – 44130 | UVBY | 9 | Эгген,1986 |
| 44392.412 – 45183.194 | UBVR | 72 | Ерлексова и др,1986 |
| 46248.47 | UBVRI | 1 | Голдсмит и др, 1987 |
| | JHKLMN | 3 | |
| 45469.384 – 45465.310 | B | 15 | Сантангело,1987 |
| | V | 5 | |
| 46204.811 – 46342.812 | BV+4узкополос. | 2 | Вальгрэн и др,1992 |
| 46994.44 – 47354.42 | UBVRI | 9 | Шентон, 1992 |
| | JHKLM | 5 | |
| | y-φ(IUE) | 13 | |
| 45879.461 – 48485.372 | UBV | 43 | Зольдос, 1993 |
| 51647.70 – 51744.50 | BVR | 21 | КрАО |
| 52418.47 – 52483.34 | BVRI | 12 | КрАО |

При этом, для того, чтобы иметь возможность сопоставления наблюдений 2002 года с полученными в течение 2000 года, показатели $(V - R)_C$ и $(V - I)_C$ были преобразованы к джонсоновской системе с помощью уравнений, опубликованных Бесселем (1979):

$$(V - R)_J = 1.37 \cdot (V - R)_C + 0.041 \quad (1)$$

для $(V - R)_C < 0.7$, а также

$$(V - R)_J = 1.613 \cdot (V - R)_C + 0.129 \quad (2)$$

для $0.7 < (V - R)_C < 1.0$.

Для показателя

$$(V - I)_J = 1.285 \cdot (V - I)_C \quad (3)$$

в пределах $0 < (V - I)_C < 1.6$.

Редукционные уравнения, учитывающие как разность фотометрических систем, так и изменение коэффициента атмосферной экстинкции, имеют вид:

Таблица 2.

| mpg | | Число оценок | Автор |
|---------------------|-----------|--------------|-------------------------------------|
| 12658.66 – 24723.58 | min I | 60 | Ватерфилд, 1927 |
| 25771 – 31282 | min(I+II) | 12 | Хагендорн, 1950 |
| | max(I+II) | 12 | |
| 32225.52 – 34694 | min(I+II) | 8 | Сатанова, 1958 |
| 33099 – 40029 | min(I+II) | 52 | Ерлексова, 1971 |
| mvis | | | |
| 23210 – 23763 | min I | 8 | Лейнер, 1924 |
| | max I | 8 | |
| 26079 – 26267 | min(I+II) | 7 | Лаузе, 1931 |
| | max(I+II) | 8 | |
| 26470 – 26527 | min(I+II) | 2 | Яккиа, 1931 |
| | max(I+II) | 3 | |
| 27281 – 27373 | min(I+II) | 4 | Лаузе, 1934 |
| | max(I+II) | 6 | |
| 30323 | min I | 1 | Лорета, 1941 |
| 30676 | min I | 1 | Лорета, 1942 |
| 33773 – 33974 | min(I+II) | 12 | Домке, Поль, 1953 |
| | max(I+II) | 13 | |
| 30145.5 – 31380 | min(I+II) | 21 | Модель, 1964 |
| | max(I+II) | 21 | |
| 42582 – 42691 | min I | 4 | Мацек, 1977 |
| | max I | 4 | |
| Без оценки блеска: | | | |
| 25471 – 26003 | min(I+II) | 14 | Лаузе, 1930, виз. |
| | max(I+II) | 13 | |
| 32041.5 – 32490.5 | min I | 4 | Петтит, 1998, фот. |
| 14764.9 – 33851.8 | min I | 37 | Цесевич, 1952, фот. |
| 33880 – 37466 | min I | 17 | Хат, 1964, фот. |
| 36407 – 40485 | min I | 18 | Бласберг, 1972, виз. |
| 37164.3 – 39349.9 | min I | 5 | Магалашвили, Кумсишвили, 1972, фот. |

$$V = mV - v_1 - v_2 X_v + v_3(mV - mB - v_4)X_v. \quad (4)$$

Для показателей цвета:

$$B - V = mB - mV + a_1 + a_2(X_b + X_v)/2 + a_3(mB - mV), \quad (5)$$

$$V - R = mV - mR + c_1 + c_2(X_v + X_r)/2 + c_3(mV - mR) + c_4(mV - mR)^2, \quad (6)$$

$$V - I = mV - mI + d_1 + d_2(X_v + X_i)/2 + d_3(mV - mI) + d_4(mV - mI)^2, \quad (7)$$

где mB, mV, mR, mI – наблюдаемые величины звезд в соответствующем фильтре, X_b, X_v, X_r, X_i – средние значения воздушных масс в момент наблюдения.

Все коэффициенты имеют простой физический смысл.

v_1, a_1, c_1, d_1 – определяют нуль-пункт системы,
 v_2, a_2, c_2, d_2 – коэффициенты атмосферной экстинкции,
 v_3, a_3, c_3, d_3 – включают в себя как цветовые члены атмосферной экстинкции, так и цветовые члены уравнений трансформации. Как показал опыт, при данной точности наблюдений нет смысла в их разделении и уточнении, – для наших целей можно взять их постоянными для всего периода наблюдений.

Для оценки коэффициентов в этих уравнениях нами были обработаны наблюдения стандартов, выполненные в течение четырех ночей за период с 26.06 по 31.07.2002 (в среднем по три кадра в каждом фильтре в каждую ночь).

Определенные для одной из ночей (7.07.2002) значения коэффициентов трансформации составляют, соответственно:

$$\begin{aligned} v_1 &= 4.61, v_2 = 0.321, v_3 = 0.004, v_4 = 1.3, \\ a_1 &= 0.28, a_2 = -0.188, a_3 = -0.03, \\ c_1 &= -0.33, c_2 = -0.079, c_3 = 0.04, \\ d_1 &= 0.47, d_2 = -0.084, d_3 = 0.15. \end{aligned}$$

Очевидно, что, принимая постоянными коэффициенты, определяющие нуль-пункт системы и пренебрегая изменениями от ночи к ночи в цветовых членах, возможно, в принципе, оценить и коэффициенты атмосферной экстинкции v_2, a_2, c_2, d_2 . Определенные таким образом коэффициенты в течение периода наблюдений изменялись в следующих пределах: v_2 от 0.30 до 0.51, a_2 от 0.13 до 0.26, c_2 от 0.03 до 0.14, d_2 от 0.01 до 0.17.

Окончательный результат – значения звездных величин и показателей цвета переменной звезды, определенные по всей совокупности наблюдений, – приведен в таблице 3, где в первой колонке указана дата, во второй – дата юлианского периода, в третьей и последующих, – значения $V, B - V, V - R, V - I$, полученные как средние из 2 – 4 независимых оценок в течение данной ночи.

Средняя точность приведенных значений может быть оценена по наблюдениям звезд сравнения, имеющих сравнимую яркость с переменной:

$$\sigma_v \simeq 0^m008, \sigma_{bv} \simeq 0^m012, \sigma_{vr} \simeq 0^m008, \sigma_{vi} \simeq 0^m012.$$

В поле звезды сравнения, обозначенной на рис. 1 как $c1$, ($PPM\ 107386 = SAO\ 86145 = HD\ 170897 = BD + 23^\circ3465\ 8.2\ K0$), и, как отмечено выше, применявшейся многими исследователями попадает еще одна яркая звезда, обозначенная на рис. 1 как $c2$ ($PPM\ 107385 = SAO\ 86144 = HD\ 170898 = BD + 21^\circ3464\ 9.5\ G0$). Эта звезда вполне может быть использована для контроля. Полученные результаты фотометрической привязки звезд сравнения по всей совокупности наблюдений, включающих от 28 до 31 оценки блеска, приведены в таблице 4. Для показателей $V - I$, наблюдавшихся лишь в 2002 г., имелось по 10 – 12 оценок. Указана также погрешность полученного результата.

Отметим попутно, что колебания блеска и цвета для некоторых звезд в поле, замеченные по индивидуальным измерениям, хотя и не показывают определенной периодичности в силу скудости измерений, тем не менее, дают основание заподозрить переменность в пределах нескольких сотых звездной величины для нескольких звезд. Возможными переменными являются звезды NN 3 и 5 в поле переменной (рис. 1б) и NN 5 и 6 в поле звезд сравнения (рис. 1в).

Что касается звезды N 1 в поле 1в, то довольно высокая ее яркость приводит к тому, что дисперсия ее индивидуальных оценок получается выше, чем для остальных звезд в поле (этот факт был отмечен нами ранее, Бурнашев и др, 2002). Кроме того, имеющиеся независимые определения для этой звезды также показывают заметный разброс:

$$V=7.405, B - V= 1.069 \text{ (Престон и др., 1963)}$$

$$V=7.37, B - V= 1.06, V - R= 0.77 \text{ (ДюПюи, 1973)}$$

$$V=7.39, B - V= 1.09, V - R= 0.77 \text{ (Ерлексова и др., 1986).}$$

Поэтому, возможно, в дальнейших наблюдениях стоит в качестве основной звезды сравнения использовать звезду $c2$.

Сводная кривая блеска для *AC Her*, построенная по наблюдениям 2000 и 2002 гг. приведена на рис. 2. Средняя ошибка одного наблюдения, указанная выше, сравнима с размером значка.

Таблица 3.

| AC Her | Jd | | | | |
|------------|----------|-------|-------|-------|--------|
| Data | 2451000+ | V | BV | VR | |
| 12/04/2000 | 647.57 | 8.005 | 0.927 | 0.715 | |
| 30/04 | 665.53 | 7.237 | 0.778 | 0.686 | |
| 03/05 | 668.50 | 7.379 | 0.814 | 0.703 | |
| 10/05 | 675.54 | 7.614 | 0.839 | 0.750 | |
| 13/05 | 678.48 | 7.648 | 0.766 | 0.658 | |
| 22/05 | 687.49 | 7.359 | 0.509 | 0.498 | |
| 26/05 | 691.50 | 7.313 | 0.420 | 0.552 | |
| 27/05 | 692.51 | 7.265 | 0.529 | 0.533 | |
| 28/05 | 693.42 | 7.269 | 0.583 | 0.556 | |
| 05/06 | 701.45 | 7.405 | 0.893 | 0.685 | |
| 09/06 | 705.48 | 7.398 | 0.968 | 0.687 | |
| 11/06 | 707.44 | 7.473 | 0.975 | 0.698 | |
| 15/06 | 711.42 | 7.576 | 1.012 | 0.696 | |
| 23/06 | 719.43 | 8.278 | 1.101 | 0.856 | |
| 24/06 | 720.45 | 8.325 | 1.145 | 0.858 | |
| 26/06 | 722.43 | 8.391 | 1.135 | 0.839 | |
| 28/06 | 724.43 | 8.381 | 1.098 | 0.834 | |
| 01/07 | 727.37 | 7.981 | 0.831 | 0.680 | |
| 04/07 | 730.38 | 7.546 | 0.741 | 0.607 | |
| 16/07 | 742.37 | 7.112 | 0.729 | 0.650 | |
| 18/07 | 744.38 | 7.133 | 0.768 | 0.640 | |
| | 2452000+ | V | BV | VR | VI |
| 23/05/2002 | 418.470 | 7.252 | 0.797 | 0.617 | 1 .167 |
| 25/05 | 420.370 | 7.366 | 0.838 | 0.634 | 1 .228 |
| 29/05 | 424.370 | 7.563 | 0.846 | 0.747 | 1 .289 |
| 09/06 | 435.350 | 7.766 | 0.748 | 0.663 | 1 .131 |
| 13/06 | 439.400 | 7.513 | 0.606 | 0.550 | 1 .077 |
| 15/06 | 441.350 | 7.329 | 0.514 | 0.523 | 0 .986 |
| 22/06 | 448.360 | 7.323 | 0.713 | 0.634 | 1 .190 |
| 24/06 | 450.330 | 7.295 | 0.807 | 0.642 | 1 .154 |
| 27/06 | 453.330 | 7.315 | 0.904 | 0.625 | 1 .206 |
| 04/07 | 460.290 | 7.540 | 0.948 | 0.721 | 1 .250 |
| 07/07 | 463.310 | 7.682 | 0.940 | 0.733 | 1 .295 |
| 27/07 | 483.340 | 7.367 | 0.647 | 0.593 | 1 .137 |

Линией соединены последовательные оценки блеска, полученные в течение первого периода наблюдений с 12.04 по 18.07.2000. Как видно, разброс значений V , $B - V$, $V - R$, $V - I$, особенно в главном минимуме, вполне реален и вызван переменностью звезды в течение основного периода 75^d.424.

Как отмечалось выше, основной сложностью в исследовании переменных типа *RV Tau* является колебания их периода и нестабильность кривых блеска и лучевых скоростей (практически каждый пульсационный период индивидуален). Так, для применения метода Бааде-Весселинка для определения радиусов и расстояний до этих звезд в подавляющем большинстве случаев необходимы, строго говоря, одновременные фотометрические и спектральные данные. Некоторые оценки могут быть сделаны, однако, по средним кривым (Батюшкова, 1984). Летом 2001 года была начата программа наблюдений лучевых скоростей звезд типа *RV Тельца* с использованием корреляционного спектрометра ГАИШ. (Токовинин, 1987). К настоящему времени получено 29 индивидуальных измерений для *AC Her*. Данные по лучевым скоростям представлены в таблице 5 и в нижней части рис. 2.

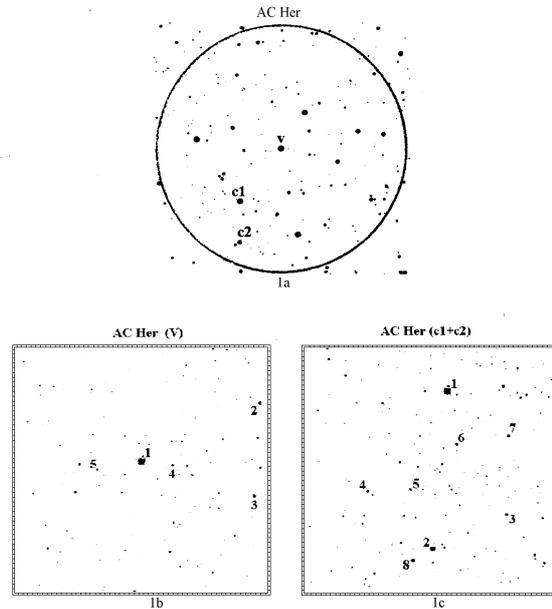


Рис. 1. Карты окрестности переменной *AC Her*. Звезда сравнения обозначена как *c1*, контрольная звезда – *c2*

Известно, что на фотометрической фазе выхода из главного минимума у звезд типа *RV Tau* наблюдается появление эмиссионных компонент и значительное усиление эмиссии в тех линиях, в которых она присутствует на протяжении всего цикла переменности, например, в H_{α} . Повидимому, значительные отклонения нескольких точек на рисунке 2 в фазе выхода из главного минимума вызваны именно этой причиной.

2 Анализ результатов

История фотометрических наблюдений *AC Her*, в том числе и простые оценки моментов минимумов и максимумов, суммирована в таблицах 1 и 2. Как видно, большая часть почти столетнего ряда, начинающегося с июня 1898 г. и перекрывающего почти полтысячи периодов изменений блеска, получена по визуальным и фотографическим оценкам. Точные фотоэлектрические наблюдения еще довольно скудны и разрозненны и недостаточно плотны для того, чтобы можно было сделать определенные выводы о кратковременной переменности внутри основного 75-дневного периода. Среднее значение этого периода, равное $75^{\text{d}}.424$ оценено нами по всей совокупности фотографических, визуальных и фотоэлектрических оценок.

В первом столбце таблицы 1 отмечен период наблюдений, во 2-м – фотометрическая система, в 3-м – количество оценок блеска переменной в соответствующей системе. При этом указаны только результаты наблюдений, которые были применены для дальнейшего анализа. Сомнительные (отмеченные самими авторами) наблюдения были отброшены. Полное число наблюдений указано в скобках. В последнем столбце дана соответствующая литературная ссылка.

Таблица 2 дополняет таблицу 1 в том смысле, что в ней приведены результаты определений моментов минимумов и максимумов. Поскольку иногда приводились и соответствующие данному моменту величины блеска переменной, таблица разделена на три части, соответственно тому, делались ли оценки блеска в фотографической или в визуальной области, или не делалась вообще. В первом столбце таблицы приводится период наблюдений, во 2-м – отмечена особенность кривой блеска, к которой относятся наблюдения (главный или вторичный минимум или максимум блеска), в 3-м – количество оценок, в 4-м столбце дана соответствующая литературная ссылка. Наиболее

Таблица 4.

| Звезды в поле переменной N | Year | V | BV | VR | VI | n |
|--------------------------------------|------|---------------|--------------|--------------|--------------|----|
| 2 | 2000 | 10.217 ±0.004 | 0.925 ±0.008 | 0.682 ±0.003 | | 18 |
| | 2002 | 10.221 ±0.000 | 0.923 ±0.001 | 0.682 ±0.000 | 1.233 ±0.000 | 11 |
| 3 | 2000 | 10.746 ±0.005 | 1.065 ±0.010 | 0.802 ±0.003 | | 19 |
| | 2002 | 10.787 ±0.006 | 1.098 ±0.008 | 0.816 ±0.005 | 1.447 ±0.009 | 11 |
| 4 | 2000 | 12.242 ±0.011 | 1.078 ±0.011 | 0.787 ±0.010 | | 20 |
| | 2002 | 12.243 ±0.005 | 1.069 ±0.016 | 0.775 ±0.010 | 1.398 ±0.010 | 11 |
| 5 | 2000 | 12.190 ±0.008 | 1.172 ±0.020 | 0.849 ±0.007 | | 19 |
| | 2002 | 12.249 ±0.014 | 1.191 ±0.011 | 0.870 ±0.013 | 1.527 ±0.014 | 11 |
| Звезды в поле звезды сравнения | | | | | | |
| 1 | 2000 | 7.404 ±0.001 | 1.069 ±0.000 | 0.771 ±0.001 | | 17 |
| | 2002 | 7.336 ±0.008 | 1.097 ±0.007 | 0.757 ±0.010 | 1.305 ±0.013 | 11 |
| 2 | 2000 | 8.931 ±0.002 | 0.510 ±0.003 | 0.423 ±0.002 | | 19 |
| | 2002 | 8.937 ±0.001 | 0.510 ±0.000 | 0.425 ±0.002 | 0.758 ±0.004 | 11 |
| 3 | 2000 | 12.264 ±0.005 | 0.470 ±0.013 | 0.407 ±0.007 | | 19 |
| | 2002 | 12.252 ±0.008 | 0.456 ±0.012 | 0.396 ±0.010 | 0.757 ±0.012 | 10 |
| 4 | 2000 | 12.523 ±0.009 | 0.924 ±0.026 | 0.679 ±0.013 | | 18 |
| | 2002 | 12.532 ±0.015 | 0.904 ±0.010 | 0.699 ±0.011 | 1.217 ±0.010 | 11 |
| 5 | 2000 | 12.472 ±0.009 | 0.649 ±0.015 | 0.561 ±0.008 | | 18 |
| | 2002 | 12.449 ±0.007 | 0.612 ±0.005 | 0.511 ±0.013 | 0.982 ±0.010 | 11 |
| 6 | 2000 | 11.657 ±0.003 | 0.728 ±0.008 | 0.568 ±0.004 | | 18 |
| | 2002 | 11.608 ±0.006 | 0.706 ±0.008 | 0.545 ±0.009 | 0.991 ±0.008 | 11 |
| 7 | 2000 | 10.721 ±0.003 | 1.179 ±0.009 | 0.860 ±0.003 | | 18 |
| | 2002 | 10.697 ±0.008 | 1.206 ±0.006 | 0.856 ±0.008 | 1.508 ±0.011 | 11 |
| 8 | 2000 | 10.848 ±0.002 | 0.643 ±0.003 | 0.529 ±0.006 | 0.912 ±0.009 | 11 |

обширный ряд оценок блеска *AC Her* получен Пэйн-Гапошкиной и др. (1943) по снимкам Гарвардской коллекции. Считая, что гарвардская фотографическая система не слишком отличается от фотоэлектрической системы *B* и добавив к нашим наблюдениям также фотометрию других авторов, приведенную в таблице 1, мы получили довольно обширный ряд, перекрывающий почти 504 периодов изменения блеска звезды. Этот ряд был проанализирован с помощью пакета программ Пельта (1992). При этом визуальные и фотографические наблюдения анализировались отдельно. Это дало дополнительный независимый контроль достоверности получаемых результатов. Наиболее выдающийся пик на периодограммах соответствует периоду $P = 75^d424$.

В качестве примера для этого периода на рисунке 3 показана фазовая кривая для фотографических наблюдений. Значения фазы переменности φ вычислены по формуле:

$$MinI = JD2414460 + 75.424 \cdot E.$$

Обращает на себя внимание довольно большой разброс, особенно значительный в главном минимуме. Визуальные наблюдения показывают примерно такую же картину. На рисунке 4 показаны средние кривые изменения блеска *AC Her*, по визуальным и фотографическим оценкам. Каждая точка соответствует среднему значению на интервалах фазы $\Delta \varphi = 0.04$. Указано общее число оценок, принятых при осреднении. Смещение визуальной кривой по фазе относительно фотографической вызвано, по видимому, тем, что визуальные наблюдения были начаты существенно позднее (см. далее).

Вычитая среднюю кривую из наблюдаемых значений, и вновь построив периодограмму, мы на-

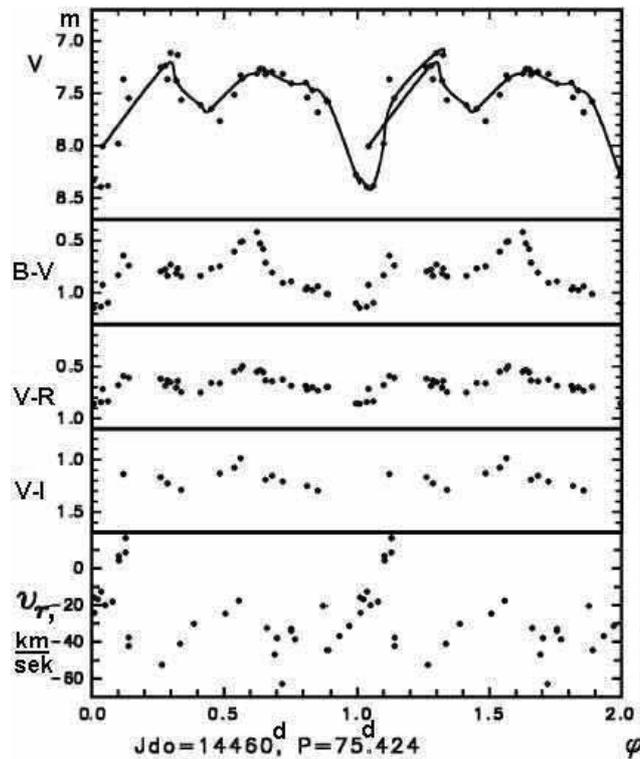


Рис. 2. Изменение блеска, цвета и лучевой скорости AC Her по крымским наблюдениям 2000 – 2003 гг.

шли указание на еще один период, $P = 9491^d$.

На рисунке 5 приведены значения разности между наблюдаемыми значениями m_{pg} и интерполированными для средней кривой $m_{pg}(P = 75^d.424)$:

$$\Delta m_{pg} = m_{pg} - m_{pg}(P = 75^d.424)$$

Обращает на себя внимание довольно большой разброс. С другой стороны, ряд наблюдений в фотографической области все же имеет большие пробелы.

Ряд аналогичных разностей, полученный по визуальным наблюдениям

$$\Delta m_{vis} = m_{vis} - m_{vis}(P = 75^d.424)$$

имеет меньшую протяженность по времени, зато он более плотен.

Средние кривые, соответственно, для визуальных и фотографических наблюдений показаны на рисунке 6. Как видно, кривые почти не повторяют друг друга, тем не менее, особенность на фазе 0.1, возможно, является реальной. Однако, для того, чтобы сделать более определенные выводы о переменности блеска звезды, возможно, необходим более рафинированный анализ.

Отметим попутно, что в спектрах мощности обоих рядов, фотографического и визуального, имеется несколько более или менее близких пиков:

$$6130^d(pg) - 5009^d(vis), 4998^d(pg) - 4866^d(vis), 3487^d(pg) - 3596^d(vis).$$

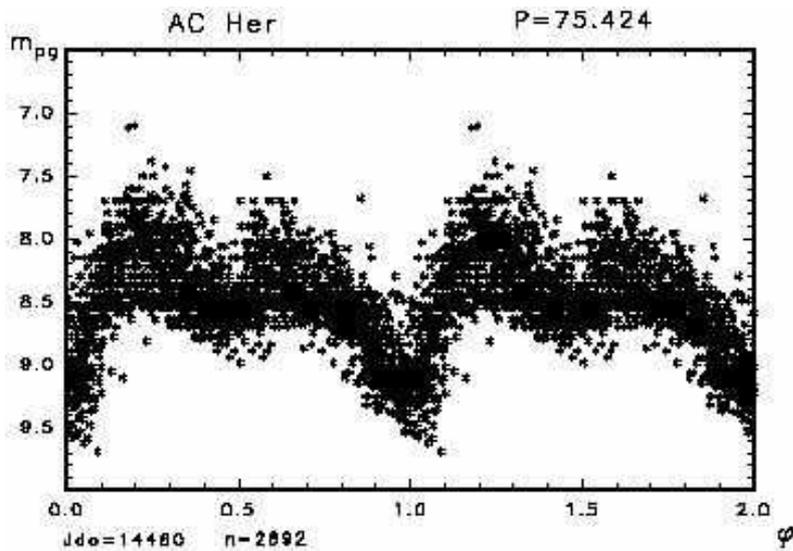
Нами были построены также средние кривые, аналогичные показанным на рис. 6, для периода $P = 1194^d$, соответствующего орбитальному периоду, определенному по лучевым скоростям. Однако и они не позволяют сделать определенного вывода о периодическом изменении блеска звезды с таким периодом.

В свое время Зольдос (1988) исследовал изменения основного периода колебаний блеска и предложил следующие средние элементы:

$$Min(I) = 2410010.24 + 75.4255 \cdot E$$

Таблица 5.

| Year 2001 | | | Year 2002 | | | Year 2003 | | |
|--------------|-------------------|------------|--------------|-------------------|------------|--------------|-------------------|------------|
| JD | V_r , км/сек | ERR | JD | V_r , км/сек | ERR | JD | V_r , км/сек | ERR |
| 52075.490 | -62.88 | ± 0.67 | 52450.474 | -46.87 | ± 0.54 | 52817.417 | -17.61 | ± 0.81 |
| 52088.370 | -44.61 | ± 0.49 | 52456.355 | -38.65 | ± 0.39 | 52825.290 | -32.39 | ± 0.65 |
| 52091.440 | -36.88 | ± 0.40 | 52474.372 | -15.78 | ± 0.68 | 52828.310 | -37.95 | ± 2.44 |
| 52094.351 | -31.33 | ± 0.44 | 52475.438 | -16.82 | ± 0.69 | 52828.324 | -37.73 | ± 1.63 |
| 52097.404 | -24.16 | ± 0.59 | 52476.422 | -12.55 | ± 1.02 | 52832.374 | -32.80 | ± 0.43 |
| 52100.329 | -20.11 | ± 0.91 | 52481.433 | 6.74 | ± 1.10 | 52832.379 | -34.03 | ± 0.42 |
| 52102.478 | -18.20 | ± 0.79 | 52481.442 | 4.26 | ± 0.50 | 52841.432 | -20.45 | ± 0.39 |
| 52192.166 | -52.55 | ± 0.69 | 52483.405 | 8.67 | ± 1.80 | - | - | - |
| 52197.270 | -41.03 | ± 0.44 | 52483.437 | 16.52 | ± 9.51 | - | - | - |
| 52201.223 | -30.09 | ± 0.54 | 52484.332 | -42.20 | ± 0.78 | - | - | - |
| 52210.180 | -24.53 | ± 0.54 | 52484.341 | -37.52 | ± 0.68 | - | - | - |

Рис. 3. Сводная фазовая кривая для фотографических наблюдений для периода $P = 75^d.424$

Колебания величины $O - C$ для главного минимума он аппроксимировал суммой синусоиды и параболы.

Оцененные по всей совокупности наблюдений отклонения моментов главного и вторичного минимумов также были проанализированы нами с помощью пакета Пельта.

Наблюдения главного минимума имеют больший вес, так как, с одной стороны, они более многочисленны, с другой, – их средние моменты определяются с большей надежностью. Более “расплывчатая” форма вторичного минимума и порой отсутствие его на кривой блеска, – причины того, что значения $O - C$ для вторичного минимума использовались лишь для контроля.

На рисунках 7а и 7б показан ход значений $O - C$ со временем для обоих минимумов. Точки –

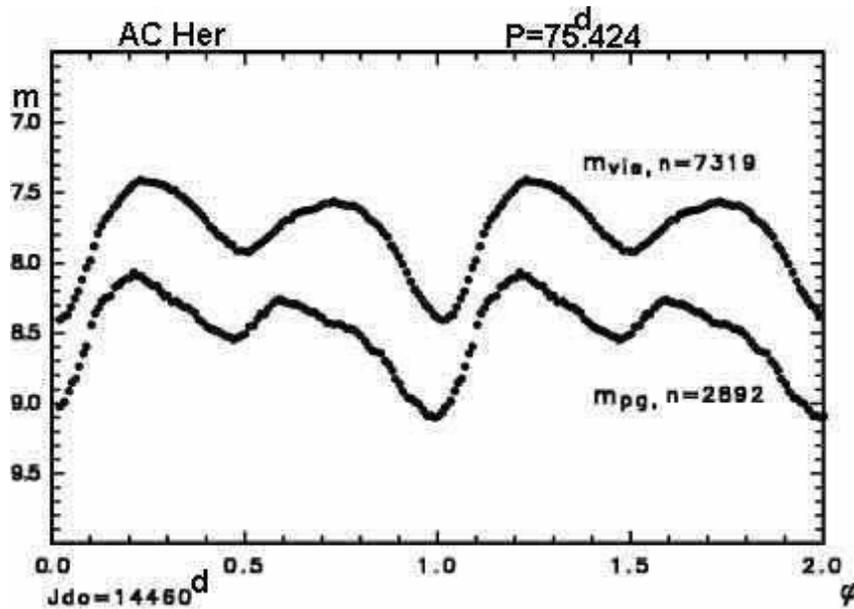


Рис. 4. Средние фазовые кривые для фотографических и визуальных наблюдений для периода $P = 75.424^d$

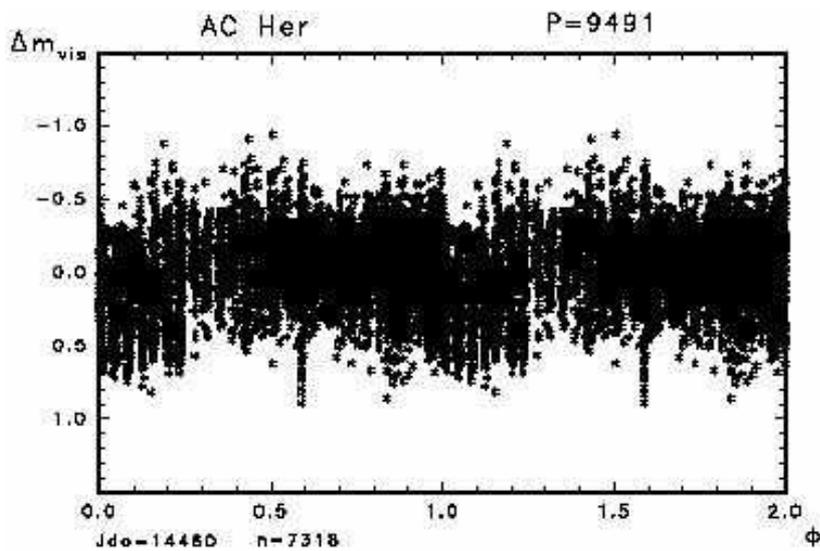


Рис. 5. Фазовая кривая блеска по визуальным наблюдениям для периода $P = 9491^d$ после учета основного цикла переменности $P = 75.424^d$

литературные данные, кресты – определенные нами по фотографическим и B -наблюдениям, квадраты – по визуальным и фотоэлектрическим V – кривым блеска.

Из точных фотоэлектрических наблюдений известно, что моменты минимумов в полосе V и показателей $B - V$, а, следовательно и минимумы в полосах B и V не совпадают. В среднем это расхождение составляет около $+0.6^d$, что сопоставимо с размерами значков. Максимальное значение, обусловленное, по нашему мнению, в основном ошибками наблюдений, может достигать 5^d .

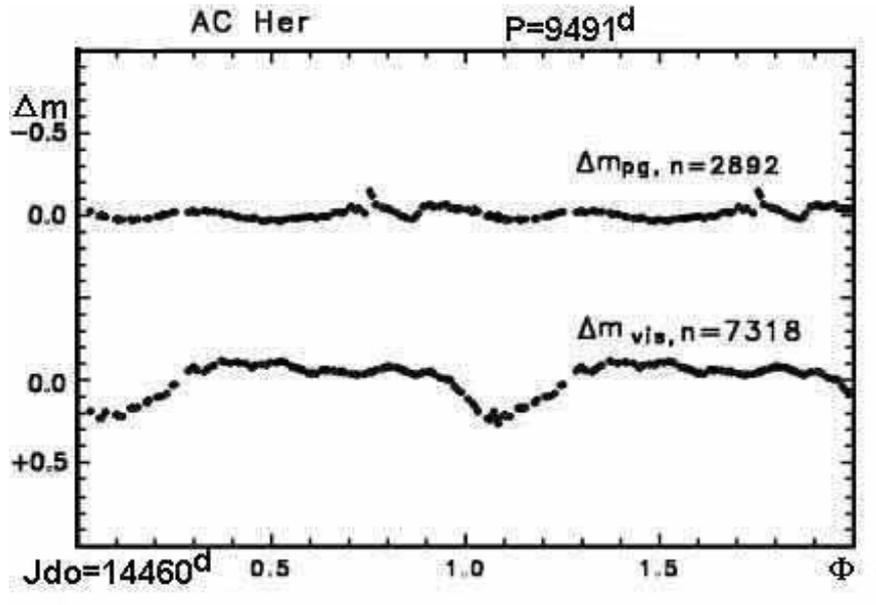


Рис. 6. Средние фазовые кривые для фотографических и визуальных наблюдений для периода $P = 9491^d$ после учета основного цикла переменности

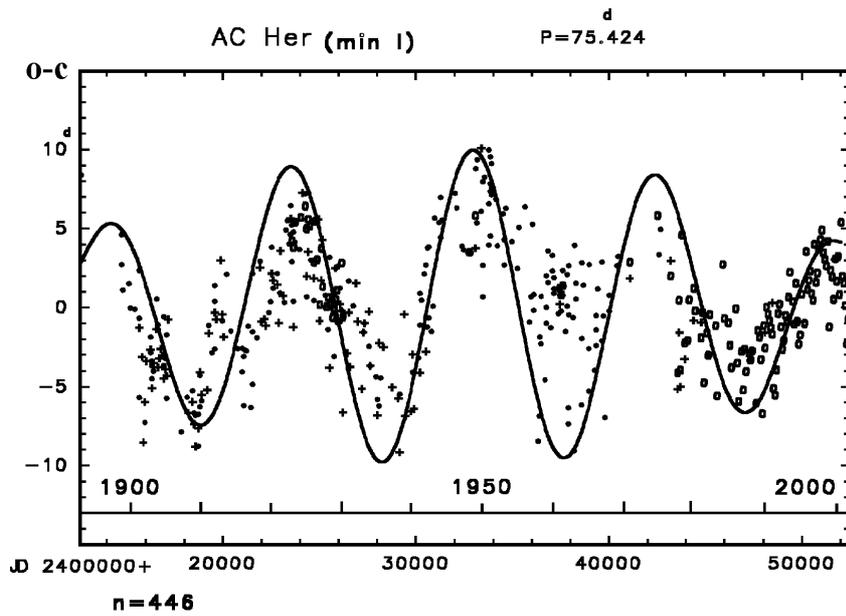


Рис. 7. (а). Диаграммы $O - C$ для главного минимума для периода $P = 75.424^d$. Сплошной линией указано синусоидальное колебание с периодом $P = 9491^d$.

Тем не менее, для анализа нами применен весь массив данных. Реально наблюдающийся разброс значительно превышает ошибки определения $O - C$.

Сплошной линией на рисунках нанесена синусоида, модулированная параболой:

$$s = (-1.6 \left[\frac{t - 3400}{1000} \right]^2 + 10) \cdot \sin \left[\frac{2\pi}{9491.2} \cdot (t - 11613.2) \right]. \quad (8)$$

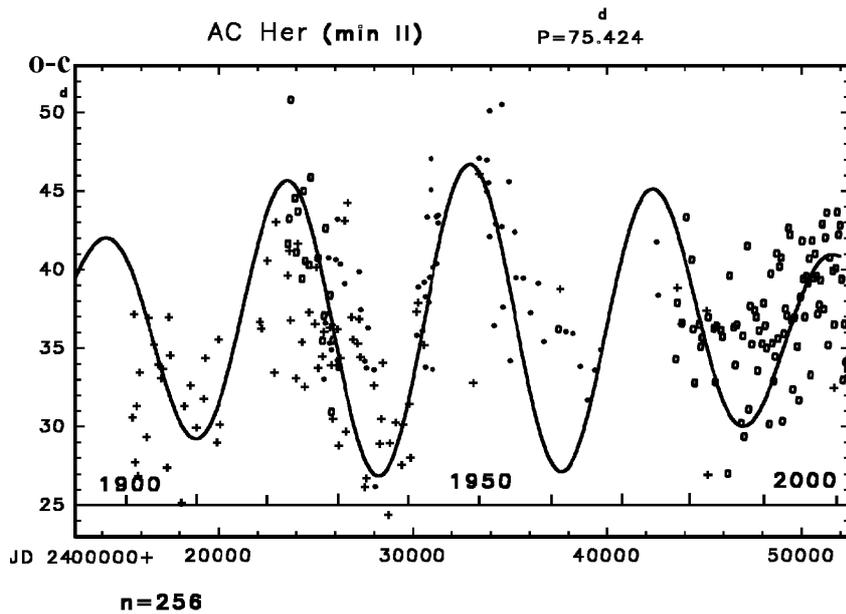


Рис. 7. (b). Диаграммы $O-C$ для вторичного минимума для периода $P = 75^d.424$. Нулевое значение-момент главного минимума. Сплошной линией указано синусоидальное колебание с периодом $P = 9491^d$

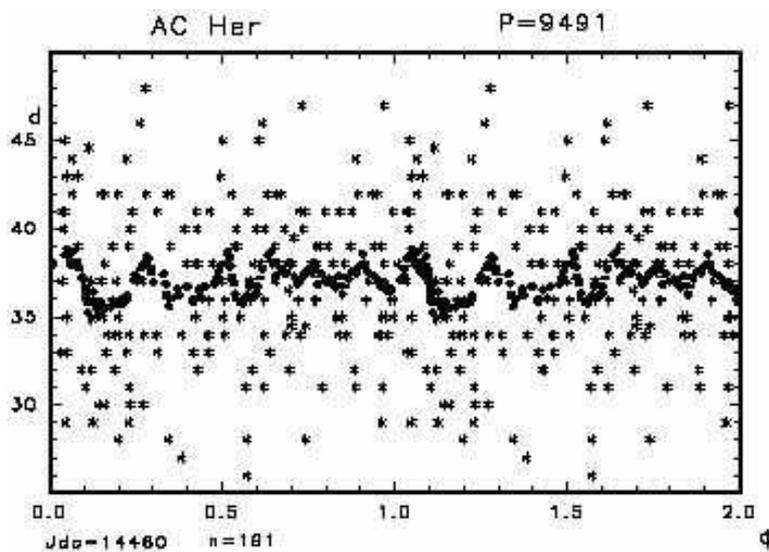


Рис. 8. (a). Изменение длительности интервала между главным и вторичным минимумами, свернутый с периодом $P = 9491$ дня

О длительности интервала между первичным и вторичным минимумами нет возможности сказать что-либо определенное. Для периода $P = 9491^d$ разброс значений слишком велик, данных недостаточно и периодограммный анализ не показывает значимого пика в окрестности этого периода.

Что же касается возможной переменности этой величины, обусловленной двойственностью, для

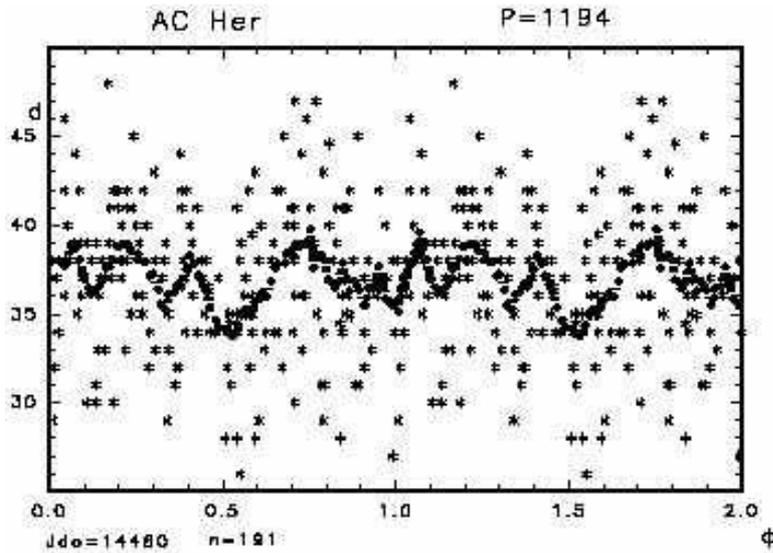


Рис. 8. (b). Изменение длительности интервала между главным и вторичным минимумами, свернутый с периодом орбитального цикла

$P = 1194^d$, то момент прохождения через периастр, где можно было бы ожидать каких-либо фотометрических проявлений этого события, попадает на фазу $\phi = 0.36$. Между тем, возможный минимум на фазовой кривой, который можно было бы приписать этому событию, наблюдается на фазе $\phi = 0.5$! Этот факт и большой разброс точек на рис 8а и 8б, по нашему мнению, не позволяют говорить о надежно установленной переменности блеска, вызванного двойственностью.

Более определенный ответ на вопрос о значимости периода $P = 9491^d$ и его физическом смысле (биения, орбитальное движение и т.п.) могли бы дать, с одной стороны, достаточно однородные и продолжительные ряды фотоэлектрических наблюдений блеска, а также определений лучевой скорости. С другой стороны, было бы весьма полезным изучение формы спектральных линий, имеющих для звезд типа *RV Tau* своеобразное поведение в течение цикла переменности.

Имеющийся в нашем распоряжении наблюдательный материал был применен для оценки радиуса звезды.

Для этого мы воспользовались усовершенствованной реализацией метода Бааде-Весселинка в модификации Балона (1977) с использованием нелинейного метода максимального правдоподобия. В свое время метод был применен нами для исследования классических цефеид (Сачков и др., 1998).

Дополнительно к собственным измерениям лучевых скоростей для оценки радиуса звезды были использованы данные из работы Жиллет и др. (1990). Полученное значение радиуса для *AC Her* составляет 22 ± 8 солнечных радиусов.

Наш результат, по-видимому, подтверждает возможность использования переменных типа *RV Тельца* для задач определения расстояний в гало Галактики. Однако наблюдательные данные по этим звездам, особенно одновременные наблюдения блеска и лучевых скоростей, явно недостаточны. На данный момент нет возможности делать вывод о наличии у этих переменных, по аналогии с классическими цефеидами, зависимости период-радиус. Необходимы дальнейшие исследования.

Таким образом, проведенная в Крымской обсерватории ПЗС-фотометрия переменной *AC Her* позволила установить среднее значение периодических изменений блеска $P = 75^d.424$ в полосах *BVRI*. При этом изменения блеска, обусловленные двойственностью, не превышают ошибок наблюдений.

Авторы глубоко благодарны Г.А. Сивцову за вклад в работу на разных этапах проектирования, создания и наладки ПЗС-фотометра.

Литература

- Балона (Balona L.A.) // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1977. V. 178. P. 231.
- Батюшкова (Batyushkova B.N.) // *Inform. Bull. Variable Stars.* 1984. N. 2505. P. 1.
- Бессель (Bessel M.S.) // *Publ.A.S.P.* 1979. V. 91. P. 589.
- Бейер () // *Astron.Abhandl.* 1931. V. 8. N. 3. P. 1. V. 101. P. 294.
- Бейли (Bailey S.J.) // *Harvard College Obs. Circ.* 1921.
- Бурнашев В.И., Бурнашева Б.А., Витриченко Э.А. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обс.* 2002. Т. 98. С. 123.
- Бласберг (Blasberg H.-J.) // *Mitt. Veranderliche Sternen.* 1972. Bd. 6. H.3. S.57.
- Вальгрэн и др. (Wahlgren G.M. et al) // *Astron J.* 1992. V. 104. N. 3. P. 1174.
- Ван-Винкель и др. (Van Winkel H., Waelkens C., Waters L.B.F.M., Molster F.J., Udry S., Bakker E.J.) // *Astron.Astrophys.* 1998. V. 336. P. L17.
- Вааген (Waagen, E.O.) // *Observations from the AAVSO International Database, private communication.*
- Виллиамс (Williams J.A.) // *Astron. J.* 1966. V. 71. N. 7. P. 615.
- Гонсалес и др. (Gonzalez G., Lambert D.L., Giridhar S.) // *Astrophys.J.* 1997. V. 479. P. 427.
- Гиридхар и др. (Giridhar S., Lambert D.L., Gonzalez G.,) // *Astrophys.J.* 1998. V. 509. P. 366.
- Голдсмит и др. (Goldsmith M.J., Evans A., Albinson J.S., Bode M.F.) // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1987. V. 227. P. 143.
- Джура (Jura M.) // *Astrophys.J.* 1986. V.309. P. 732.
- Джура и др. (Jura M., Chen C., Werner M.W.) // *Astrophys.J.* 2000. V. 541. P. 264.
- Домке, Поль (Domke K., Pohl E.) // *Astron. Nachrichten.* 1953. Bd. 281. H. 3. S. 113.
- Доусон (Dawson D.W.) // *Astrophys.J.Suppl.Ser.* 1979. V. 41. P. 97.
- Доусон, Паттерсон (Dawson D.W., Patterson) // *Publ.A.S.P.* 1982. V. 94. N. 559. P. 574.
- ДюПуи (DuPuy D.) // *Astrophys.J.* 1973. V. 185. P. 597.
- Ерлексова Г.Е., Зубарев А.В., Рахимов Ю.В. // *Переменные звезды.* 1986. Т. 22. N. 3. С. 311.
- Ерлексова Г.Е. // *Переменные звезды.* 1971. Т. 18. N. 1. С. 53.
- Жиллет (Gillet D.) // *Astron.Astrophys.* 1989. V. 215. N. 2. P. 316.
- Захаров (Zaharov G.) // *Tashkent Publ.* 1931. V. 1. P. 33.
- Зольдос (Zoldos E.) // *Astron.Astrophys.* 1993. V. 268. No 1. P. 149.
- Зольдос (Zoldos E.) // *Inform. Bull. Variable Stars,* 1988. N. 3192. P. 1.
- Карделли (Cardelli J.A.) // *Astron.J.* 1985. V. 90. N. 8. P. 1494.
- Ландольт (Landolt A.U.) // *Astron.J.* 1992. V. 104. P. 340.
- Лаузе (Lause F.) // *Astron. Nachrichten.* 1930. Bd. 238. S. 265.
- Лаузе (Lause F.) // *Astron. Nachrichten.* 1931. Bd. 242. S. 57.
- Лаузе (Lause F.) // *Astron. Nachrichten.* 1934. Bd. 252. S. 265.
- Лейнер (Leiner E.) // *Astron. Nachrichten.* 1923. Bd. 221. S. 247.
- Лорета (Loreta E.) // *Veob. Zirc.* 1941. Bd. 23. S. 124.
- Лорета (Loreta E.) // *Veob. Zirc.* 1942. Bd. 24. S. 130.
- Магалашвили Н.Л., Кумсишвили Я.И. // *Бюл. Абастуманской астрофиз. обс.* 1972. N. 43. С. 3.
- Мацек (Matzek O.) // *Mitt.Veranderliche Sternen.,* 1977, Bd. 8. H. 1. S. 7.
- Модель (Model A.) // *Mitt.Veranderliche Sternen.* 1964. Bd. 2. H. 6. S. 129.
- Накагири, Ямашита (Nakagiri M., Yamashita Y.) // *Tokyo Astron. Bull.* 1979. 2-d ser. N. 260. P. 181.
- Паренаго П.П. // *Труды ГАИШ.* 1938. Т. 1. N. 1. С. 5.
- Пельт (Pelt J.) // *Irregularly Spaced Data Analysis (User Manual),* Helsinki. 1992. 267.
- Петтит (Pettit E.) // *Publ.A.S.P.* 1948. V. 60. P. 66.
- Престон и др. (Preston G.W., Krzeminiski W., Smak J., Williams J.A.) // *Astrophys.J.* 1963 V. 137. P. 401.

- Пэйн-Гапошкина Ц. и др. (Payne-Gaposkin C., Brenton V.K., Gaposkin S.) // *Harvard Annals*. 1943. V. 113. N. 1. P. 1.
- Розино (Rosino L.) // *Astrophys.J.* 1951. V. 113. N. 1. P. 60.
- Сантангело (Santangelo M.) // *Inform.Bull.Variable Stars*. 1987. N. 3094. P. 1.
- Сачков М.Е., Расторгуев А.С., Самусь Н.Н., Горыня Н.А. // *Письма в Астрон. журн.* 1998. Т. 24. С. 443.
- Сатанова Э.А. // *Астрон. Циркуляр*, 1958. N. 195. С. 16.
- Стетсон (Stetson P.B.) // *Publ.A.S.P.* 1987. V. 99. P. 191.
- Сэнфорд (Sanford R.F.) // *Astrophys.J.* 1955. V. 121. N. 2. P. 318.
- Токовинин А.А. // *Астрон. ж.* 1987. Т. 64. N. 1. С. 196.
- Уотерфилд (Waterfield W.F.H.) // *Harvard Colledge Obs.Bull.* 1927. N. 845. P. 11.
- Ференберг (Verenberg H.) // "Atlas Stellarum 1950.0". 1970. Treugessel-Verlag. Abt.II. D-4000. Dusseldorf 4 Postfach 4065.
- Хагендорн (Hagendorn H.) // *Mitt.Veranderliche Sternen*. 1950. N. 119.
- Хат (Huth H.) // *Mitt.Veranderliche Sternen*. 1964. Bd. 2. H.5. S. 112.
- Цесевич В.П. // *Астрон. Циркуляр*. 1952. N. 128. С.10.
- Шентон и др. (Shenton M. et al) // *Astron.Astrophys.* 1992. V. 262. N. 1. P. 138.
- Эгген (Eggen O.J.) // *Roy.Obs.Bull.* 1961. N. 29.
- Эгген (Eggen O.J.) // *Astrophys. J.Suppl.Ser.*1967. V.14. N. 131. P. 307.
- Эгген (Eggen O.J.) // *Astron.J.* 1986. V. 91. N. 4. P. 890.
- Яккиа (Jacchia L.) // *Veob. Zirc.* 1931. N. 27. S. 45.