

Н. И. ЧУДОВИЧЕВ

ФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ U ЦЕФЕЯ

(Представлено академиком В. Г. Фесенковым 17 I 1939)

1. Переменность блеска U Цефея была открыта Л. П. Церасской 23 июня 1880 г.

Уже первыми наблюдениями были установлены наличие константной фазы и асимметрия ветвей в минимуме. Позднее был обнаружен вторичный минимум небольшой глубины — около $0^m 1$ в визуальных и около $0^m 05$ в фотографических лучах.

Большие фотометрические ряды наблюдений U Цефея были сделаны Венделом⁽¹⁾, Дэгганом⁽²⁾, Бакером⁽³⁾, Карраско⁽⁴⁾ и Вальтером⁽⁵⁾. Дэггану частично удалось объяснить асимметрию главного минимума, рассматривая систему состоящей из двух эллипсоидальных звезд, большие оси которых параллельны и составляют с линией, соединяющей их центры тяжести угол в $23^{\circ}.7$.

Бакер из своих наблюдений подтверждает выводы Дэггана, а также Шепли⁽⁶⁾, обработавшего наблюдения Вендела, и считает, что относительные размеры и яркости системы хорошо известны.

Однако Вальтер установил различную эллиптичность у составляющих, что должно привести к совершенно иному геометрическому виду системы.

2. Наблюдения U Цефея произведены автором на астрографе Гейдес с объективом Цейсса типа «Астротриплет», на пластинках Ильфорд Монарх. Всего было получено 1 125 экспозиций.

Яркости звезд сравнения определены путем привязок к полюсу. Все пластинки промерены на фотоэлектрическом микрофотометре обсерватории, построенном Астрономическим институтом в Ленинграде по типу микрофотометра Схилта. Все наблюдения были объединены в 65 нормальных точек, и по ним построена кривая блеска. Полученная кривая имеет значительно меньшую асимметрию в главном минимуме, чем кривые названных в § 1 наблюдателей. Вторичный минимум оказался смещенным ближе к предыдущему главному минимуму на величину порядка $0^m 03$, в то время как у Вендела и Бакера он смещен в другую сторону почти на $0^m 10$. Это смещение вторичного минимума говорит за движение линии апсид в системе U Цефея.

3. Отсчитывая долготу периастра ω от нисходящего узла темной звезды, момент минимума можно задать формулой

$$T_m = T_0 + PE - \frac{Pe}{\pi} \cos(\omega' E + \omega_0), \quad (1)$$

где e — эксцентриситет орбиты, ω_0 — долгота периастра для эпохи T_0 , ω' — изменение ω за один период P .

Карраско в своей работе (7) вычислил разности между наблюдаемыми моментами минимумов и вычисленными по формуле Вендела:

$$T = 2407890.3007 + 2.492884E.$$

К найденным Карраско разностям $O=C$ было добавлено еще одно значение, соответствующее $E=8000$ (средней эпохе наблюдений автора).

Полагая, что в $O=C$ входят: ошибка начальной эпохи (ΔT_0), ошибка принятого Венделом периода (ΔP) и член, зависящий от движения линии апсид, можем написать:

$$O=C = \Delta T_0 + \Delta PE - \frac{Pe}{\pi} \cos(\omega'E + \omega_0). \quad (2)$$

Решение этих уравнений привело к следующей формуле:

$$O=C = -0.0050 + 0.0000165E - 0.063 \cos(0^\circ.028E + 235^\circ). \quad (3)$$

Отсюда

$$e = 0.080,$$

формула для вычисления эфемерид

$$2407890.2957 + 2.4929005E - 0.063 \cos(0^\circ.028E + 235^\circ), \quad (4)$$

формула периода

$$P = 2.492900 + 0.000031 \sin(0^\circ.028E + 235^\circ). \quad (5)$$

Для $E=8000$ имеем $P=2.492932$ — в полном [согласии с Геллерихом (8)].

4. Ректификация кривой блеска была произведена в предположении наличия приливной пульсации и приливного трения. Лучший результат дала ректификация, учитывающая приливное трение, произведенная по формуле

$$\Delta m = a + b \sin^2 \frac{\Delta v}{2} + c_0 \cos^2(\theta - \lambda) = a + b \sin^2 \frac{\Delta v}{2} + c' \sin 2\theta + c'' \cos 2\theta.$$

Это значит, что в системе U Цефея приливная пульсация практически отсутствует, но имеет место приливное трение и связанный с ним поворот осей (λ). Результат ректификации приведен в табл. 1. В этой же таблице приведены значения геометрической либрации $\lambda_0 = \nu - M$ (ν — истинная, M — средняя аномалии), приливной поворот осей $\lambda_1 = \lambda - \lambda_0$ и долготы периастра.

Таблица 1

	Визуальные кривые			Фотографические кривые			
	Дэган	Вальтер	Среднее	Бакер	Карраско	Чудовичев	Среднее
E	5200	7550		5200	7550	8000	
b	-0.0334	-0.0396	-0.038	-0.0519	-0.0478	-0.0473	-0.049
c_0	+0.0580	+0.0622	+0.060	+0.0544	+0.0538	+0.0420	+0.050
λ	-20°.0	-22°.5	—	-13°.4	-14°	-43°.9	—
λ_0	+8.5	+0.6	—	+8.5	+0.6	-1.4	—
λ_1	-28°.5	-23°.1	-26°	-22°.0	-14°.6	-42°	-26°
ω	+21	+86	—	+21	+86	+99	—
a	+0.0186	+0.0280	—	+0.0231	+0.0240	+0.0007	—

5. Решение проведено для кривых Дэгана, Бакера и автора. Кривые были ректифицированы со средними константами ректификации (табл. 1). Есть основание предполагать, что система U Цефея состоит из центральной меньшей яркой, почти сферической звезды, имеющей приливной поворот оси на -26° , и большей слабой, сильно эллипсоидальной, имеющей геометрическую либрацию (λ_0).

Обычные формулы решения фотометрических орбит в нашем случае не применимы.

Функция Рессела ψ для данного случая имеет вид

$$\psi(k'\alpha_n) = \frac{(\sin^2 \Delta v_n - \sin^2 \Delta v_6) [1 - z_1 \cos^2 (\theta_n - \lambda_0)]}{(\sin^2 \Delta v_6 - \sin^2 \Delta v_9) [1 - z_1 \cos^2 (\theta_n - \lambda_0)]}. \quad (6)$$

Здесь k' еще не является действительным, а лишь эффективным. Его величина значительно больше действительного k . Это вполне очевидно, так как во время затмения большая ось темной звезды направлена почти по лучу зрения и должна войти в отношение осей, умноженное на $[1 - z_1 \cos^2 (\theta_n - \lambda_0)]^{\frac{1}{2}}$, иначе говоря,

$$k = k' [1 - z_1 \cos^2 (\theta_n - \lambda_0)]^{\frac{1}{2}}.$$

Пользуясь формулой (6), находим z такое, чтобы значение k , вычисленное по нисходящей и восходящей ветвям каждой кривой, было в пределах ошибок одним и тем же.

Затем по обычным формулам вычисляем наклонность i и большую полуось звезды a_1 . Значения a_1 выражены в долях радиуса-вектора орбиты. Чтобы получить a_1 в долях большой полуоси эллипса, нужно a_1 умножить на среднее значение радиуса-вектора для каждой ветви кривой, т. е.

$$a_1 = a_1' r,$$

где r , ограничиваясь второй степенью эксцентриситета, есть

$$r = 1 - e \cos M + e^2 \sin^2 M.$$

Для вычисления эллиптичности яркого компонента z_2 можно воспользоваться формулой Вальтера (9)

$$\frac{1}{(1-z)^{\frac{1}{2}}} = \frac{L_1}{(1-z_1)^{\frac{1}{2}}} + \frac{L_2}{(1-z_2)^{\frac{1}{2}}}, \quad (7)$$

учтя либрационные и приливные повороты звезд. Для нашего случая мы будем иметь вместо (2)

$$\frac{1}{(1-z \cos^2 \lambda)^{\frac{1}{2}}} = \frac{L_1}{(1-z_1 \cos^2 \lambda_0)^{\frac{1}{2}}} + \frac{L_2}{(1-z_2 \cos^2 \lambda_1)^{\frac{1}{2}}}. \quad (8)$$

Здесь эффективная эллиптичность z выражается через c_0 соотношением

$$2z = c_0 + 0.58b \quad (10).$$

Таблица 2
Фотометрические элементы системы U Цефея (гипотеза U)

		фотогр.	визуальн.
Наклон орбиты	i	84° .2	84° .2
Эксцентриситет орбиты	e	0.080	0.080
Долгота периастра для $E = 8000$	ω	99°	99°
Движение линии апсид за период	ω'	0.028	0.028
Большая полуось большей звезды	a_1	0.427	0.414
Малая » » »	b_1	0.330	0.320
Эффективная эллиптичность	z_1	0.4	0.4
Эксцентриситет экватор. сечения	ε_1	0.636	0.636
Большая полуось меньшей звезды	a_2	0.179	0.173
Малая » » »	b_2	0.172	0.166
Эффективная эллиптичность	z_2	0.08	0.08
Эксцентриситет экватор. сечения	ε_2	0.285	0.285
Отношение радиусов звезд	k	0.419	0.419
Яркость большей звезды	L_1	0.076 *	0.150
» меньшей »	L_2	0.927	0.854

* Из кривой Бакера имеем $L_1 = 0.108$, $L_2 = 0.896$.

Вычисленные на основании данных табл. 2 теоретические кривые блеска Дэгана, Бакера и автора достаточно хорошо представили асимметрию главного минимума, асимметрию кривой вне затмения и положение вторичного минимума. Кривая Вендела этими элементами представилась несколько хуже.

Ближайшие 8—10 лет позволят заметно уточнить приведенные значения периода и движения линии апсид и проверить справедливость принятой гипотезы о движении звезд, так как сейчас геометрическая либрация темной звезды возрастает и имеет другой знак. Это должно будет сказаться на асимметрии главного минимума и будет заметнее всего в то же время, когда вторичный минимум достигнет своего наибольшего смещения, т. е. около 1955 г.

Во всяком случае, наблюдения U Цефея необходимо усилить в конце сороковых годов, фиксируя вторичный минимум на пластинках, чувствительных к инфракрасным лучам.

Спектроскопические наблюдения этой звезды настолько необходимы, что говорить об этом совершенно излишне.

В заключение выражаю благодарность д-ру В. А. Крату и проф. Д. Я. Мартынову за ряд ценных указаний, сделанных ими в процессе выполнения настоящей работы.

Поступило
19 I 1939.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА]

- ¹ Wendell, HA, 69, I, 58 (1909). ² Dugan, Princ. Obs. Contr., 5 (1920).
³ Baker, Laws Obs. Bull., 30 (1921). ⁴ Carrasco, Madrid Bol., 12—13 (1933).
⁵ Walter, AN, 250, 333 (1933). ⁶ Shapley, Princ. Obs. Contr., 3, 33 (1915).
⁷ Carrasco, Madrid Bol., 16 (1933). ⁸ Hellerich, AN, 261, 121 (1936). ⁹ Walter, Königsberg. Veröff., 2 (1934). ¹⁰ В. А. Крат, NNVS, IV, 281 (1934).