

ПОИСК ЭВОЛЮЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПЕРИОДОВ ЦЕФЕИД: CF Cas

© 2019 г. Л. Н. Бердников^{1*}, Е. Н. Пастухова²

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

²Институт астрономии РАН, Москва, Россия

Поступила в редакцию 26.10.2018 г.; после доработки 26.10.2018 г.; принята к публикации 30.10.2018 г.

Для классической цефеиды CF Cas построена $O - C$ диаграмма, охватывающая временной интервал 129 лет. Диаграмма $O - C$ имеет вид параболы, что позволило впервые определить квадратичные элементы изменения блеска и вычислить скорость эволюционного уменьшения периода $dP/dt = -0.050 (\pm 0.006)$ с/год, что согласуется с результатами теоретических расчетов для второго пересечения полосы неустойчивости. Имеющиеся данные, обработанные методом Эддингтона и Плакидиса, не показывают присутствия случайных флуктуаций периода, т.е. парабола на диаграмме $O - C$ отражает реальное эволюционное уменьшение периода.

Ключевые слова: цефеиды, изменчивость периодов, эволюция звезд.

DOI: 10.1134/S0320010819020013

ВВЕДЕНИЕ

Обнаружение парабол на $O - C$ диаграммах позволяет вычислить скорости наблюдаемых эволюционных изменений периодов. Сравнение их с теоретическими скоростями, посчитанными для разных пересечений полосы неустойчивости, позволяет идентифицировать номер пересечения, что в перспективе даст возможность построить зависимость период–светимость отдельно для каждого пересечения, а это в свою очередь приведет к более точному определению расстояний цефеид.

В 1994 г. мы начали долговременный проект по изучению изменчивости периодов цефеид. Наш опыт показал, что, когда интервал времени, охваченный $O - C$ диаграммой, достигает столетия, более 90% изученных цефеид (во всем диапазоне встречающихся в Галактике периодов) показывают эволюционные изменения их периодов (Тэрнер и др., 2006). Поэтому при изучении изменчивости периодов цефеид следует охватить наблюдениями как можно больший интервал времени.

В данной работе мы исследуем поведение пульсаций цефеиды CF Cas, период изменения блеска которой составляет 4^d88 . Важность данного исследования определяется еще и тем обстоятельством, что CF Cas является членом рассеянного звездного скопления NGC 7790, т.е. она принадлежит к

той немногочисленной группе цефеид, по которым производится калибровка зависимости период–светимость.

МЕТОДИКА И ИСПОЛЬЗУЕМЫЙ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Для изучения изменчивости периодов цефеид мы применяем общепринятую методику анализа $O - C$ диаграмм, а самым точным методом определения остатков $O - C$ является метод Герцшпрунга (1919), машинная реализация которого описана в работе Бердникова (1992а). Для подтверждения реальности обнаруженных изменений периода следует показать, что случайные флуктуации пульсационного периода, если они присутствуют, не являются доминирующими на диаграмме $O - C$; для поиска этих случайных флуктуаций мы используем метод, описанный Эддингтоном и Плакидисом (1929).

Переменность CF Cas открыл Белявский (1931), отметивший, что звезда располагается в северной части рассеянного скопления NGC 7790. Ланге (1933) определил период 4^d88 . Поведение периода изучали Хоффмайстер (1942) и Пейн-Гапошкина и Гапошкин (1963), однако прогрессивные изменения периода обнаружены не были.

Для нового изучения периода CF Cas мы сделали глазомерные оценки блеска на старых фо-

*Электронный адрес: berdnik@sai.msu.ru

Таблица 1. ПЗС-наблюдения CF Cas

HJD, 2400000+	Фильтр	Блеск	HJD, 2400000+	Фильтр	Блеск	HJD, 2400000+	Фильтр	Блеск
56183.2463	V	11.201	56183.2468	I_c	9.729	56183.2474	V	11.213
56183.2479	I_c	9.732	56183.2484	V	11.203	56183.2489	I_c	9.723
56183.2494	V	11.208	56183.2499	I_c	9.726	56183.2504	V	11.218
56183.2509	I_c	9.717	56184.2533	V	11.280	56184.2536	I_c	9.805
56184.2539	V	11.288	56184.2542	I_c	9.800	56184.2545	V	11.285
56184.2548	I_c	9.800	56184.2552	V	11.295	56184.2555	I_c	9.792
56184.2558	V	11.284	56184.2561	I_c	9.810	56189.2612	V	11.348
56189.2614	I_c	9.839	56189.2616	V	11.351	56189.2618	I_c	9.825
56189.2620	V	11.339	56189.2622	I_c	9.828	56189.2625	V	11.340
56189.2627	I_c	9.843	56189.2629	V	11.360	56189.2631	I_c	9.833
56190.2421	V	11.193	56190.2423	I_c	9.748	56190.2425	V	11.235
56190.2427	I_c	9.757	56190.2429	V	11.163	56190.2431	I_c	9.785
56190.2433	V	11.190	56190.2435	I_c	9.787	56190.2438	V	11.215
56190.2440	I_c	9.730	56191.2364	V	10.830	56191.2367	I_c	9.531
56191.2370	V	10.827	56191.2373	I_c	9.517	56191.2376	V	10.824
56191.2379	I_c	9.511	56192.2305	V	11.026	56192.2308	I_c	9.626
56192.2346	V	11.041	56192.2350	I_c	9.570	56192.2354	V	11.056
56192.2358	I_c	9.599	56192.2362	V	11.040	56192.2366	I_c	9.630
56204.1960	V	11.356	56204.1964	V	11.350	56204.1968	V	11.363
56204.1971	V	11.356	56204.1975	V	11.356	56204.1978	I_c	9.858
56204.1980	I_c	9.821	56204.1982	I_c	9.845	56204.1984	I_c	9.837
56204.1986	I_c	9.858	56205.2325	V	10.972	56205.2328	V	10.975
56205.2330	V	10.999	56205.2333	V	10.973	56205.2335	V	10.976
56205.2338	V	10.971	56205.2340	V	10.974	56205.2342	I_c	9.642
56205.2343	I_c	9.618	56205.2345	I_c	9.609	56205.2346	I_c	9.614
56206.1926	V	10.877	56206.1930	V	10.869	56206.1934	V	10.881
56206.1937	V	10.880	56206.1941	V	10.873	56206.1943	I_c	9.547
56206.1945	I_c	9.542	56206.1947	I_c	9.521	56206.1949	I_c	9.551
56206.1951	I_c	9.545	56207.1781	V	11.096	56207.1783	V	11.099
56207.1786	V	11.091	56207.1788	V	11.096	56207.1791	V	11.081
56207.1793	I_c	9.633	56207.1794	I_c	9.652	56207.1795	I_c	9.648
56207.1796	I_c	9.663	56207.1798	I_c	9.649	56208.2135	V	11.237

Таблица 1. Продолжение

HJD, 2400000+	Фильтр	Блеск	HJD, 2400000+	Фильтр	Блеск	HJD, 2400000+	Фильтр	Блеск
56208.2138	V	11.262	56208.2142	V	11.256	56208.2145	V	11.259
56208.2149	V	11.240	56208.2152	I _c	9.764	56208.2154	I _c	9.745
56208.2156	I _c	9.724	56208.2158	I _c	9.768	56208.2159	I _c	9.756
56210.1830	V	10.920	56210.1833	V	10.920	56210.1835	V	10.919
56210.1838	V	10.898	56210.1840	V	10.915	56210.1842	I _c	9.592
56210.1843	I _c	9.580	56210.1845	I _c	9.609	56210.1846	I _c	9.594
56210.1847	I _c	9.606	56212.1847	V	11.145	56212.1851	V	11.142
56212.1854	V	11.129	56212.1858	V	11.120	56212.1861	V	11.122
56212.1864	I _c	9.676	56212.1866	I _c	9.677	56212.1868	I _c	9.679
56212.1870	I _c	9.713	56212.1872	I _c	9.655	56213.1777	V	11.271
56213.1779	V	11.281	56213.1782	V	11.271	56213.1784	V	11.283
56213.1787	V	11.274	56213.1789	I _c	9.772	56213.1790	I _c	9.775
56213.1791	I _c	9.756	56213.1793	I _c	9.753	56213.1794	I _c	9.756
56216.2026	V	10.955	56216.2031	V	10.950	56216.2036	V	10.953
56216.2046	I _c	9.576	56216.2048	I _c	9.583	56216.2049	I _c	9.591
56219.1549	V	11.333	56219.1552	V	11.344	56219.1554	V	11.321
56219.1557	V	11.341	56219.1559	V	11.345	56219.1561	I _c	9.858
56219.1562	I _c	9.875	56219.1564	I _c	9.845	56219.1565	I _c	9.848
56219.1566	I _c	9.867	56237.1140	V	11.198	56237.1143	V	11.190
56237.1145	V	11.201	56237.1148	V	11.195	56237.1150	V	11.207
56237.1152	I _c	9.719	56237.1153	I _c	9.717	56237.1155	I _c	9.717
56237.1156	I _c	9.718	56237.1157	I _c	9.720	56238.1341	V	11.365
56238.1343	V	11.363	56238.1346	V	11.342	56238.1348	V	11.355
56238.1350	V	11.376	56238.1352	I _c	9.860	56238.1354	I _c	9.848
56238.1355	I _c	9.851	56238.1356	I _c	9.860	56238.1358	I _c	9.858
56239.1092	V	11.154	56239.1095	V	11.158	56239.1097	V	11.154
56239.1099	V	11.154	56239.1102	V	11.129	56239.1104	I _c	9.712
56239.1105	I _c	9.745	56239.1107	I _c	9.719	56239.1108	I _c	9.728
56239.1109	I _c	9.691	56240.1242	V	10.862	56240.1246	V	10.847
56240.1249	V	10.862	56240.1253	V	10.845	56240.1257	V	10.856
56240.1260	I _c	9.521	56240.1261	I _c	9.540	56240.1263	I _c	9.516
56240.1267	I _c	9.511	56241.1346	V	11.070	56241.1349	V	11.067

Таблица 1. Окончание

HJD, 2400000+	Фильтр	Блеск	HJD, 2400000+	Фильтр	Блеск	HJD, 2400000+	Фильтр	Блеск
56241.1353	<i>V</i>	11.066	56241.1356	<i>V</i>	11.071	56241.1360	<i>V</i>	11.053
56241.1363	<i>I_c</i>	9.636	56241.1365	<i>I_c</i>	9.652	56241.1367	<i>I_c</i>	9.670
56241.1368	<i>I_c</i>	9.627	56241.1370	<i>I_c</i>	9.616	56242.1097	<i>V</i>	11.202
56242.1099	<i>V</i>	11.180	56242.1102	<i>V</i>	11.222	56242.1104	<i>V</i>	11.217
56242.1106	<i>V</i>	11.227	56242.1108	<i>I_c</i>	9.744	56242.1110	<i>I_c</i>	9.745
56242.1111	<i>I_c</i>	9.733	56242.1112	<i>I_c</i>	9.762	56242.1114	<i>I_c</i>	9.736
56243.1251	<i>V</i>	11.373	56243.1253	<i>V</i>	11.363	56243.1256	<i>V</i>	11.361
56243.1258	<i>V</i>	11.370	56243.1260	<i>V</i>	11.370	56243.1262	<i>I_c</i>	9.872
56243.1264	<i>I_c</i>	9.876	56243.1265	<i>I_c</i>	9.867	56243.1266	<i>I_c</i>	9.849
56243.1268	<i>I_c</i>	9.870	56246.1713	<i>V</i>	11.092	56246.1718	<i>V</i>	11.085
56246.1723	<i>V</i>	11.083	56246.1727	<i>V</i>	11.085	56246.1732	<i>V</i>	11.099
56246.1736	<i>I_c</i>	9.626	56246.1738	<i>I_c</i>	9.656	56246.1741	<i>I_c</i>	9.653
56246.1743	<i>I_c</i>	9.648	56246.1746	<i>I_c</i>	9.632			

Таблица 2. Наблюдательный материал цефеиды CF Cas

Источник данных	Число наблюдений	Тип наблюдений	Интервал JD
Гарвард (данная работа)	526	<i>PG</i>	2411312–2434284
ГАИШ (данная работа)	561	<i>PG</i>	2413837–2444570
Данная работа (Табл. 1)	117	<i>V</i>	2456183–2456246
Литература	70	<i>PG</i>	2427285–2429568
Литература	460	<i>B</i>	2435668–2450357
Литература	501	<i>V</i>	2435668–2450357
Hipparcos	214	<i>V</i>	2447867–2449014
AAVSO	341	<i>B</i>	2435668–2457800
AAVSO	594	<i>V</i>	2435668–2457800
INTEGRAL-OMC	1715	<i>V</i>	2452637–2457834
ASAS-SN	1144	<i>V</i>	2457008–2458369

тографических пластинок университета Гарварда (США) и ГАИШ. Кроме того, на 60-см телескопе Майданакской астрономической обсерватории (Республика Узбекистан) были получены ПЗС наблюдения в фильтрах *VI_c* фотометрической системы Казинса (1976), которые приведены

в табл. 1. Мы также использовали фотографические наблюдения Ерлексовой (1961) и фотометрические наблюдения, полученные в рамках проектов Hipparcos (ЕКА, 1997), INTEGRAL-OMC (Альфонсо-Гарсон и др. 2012), ASAS-SN (Шепи, 2014; Кочанек и др., 2017), и из международной

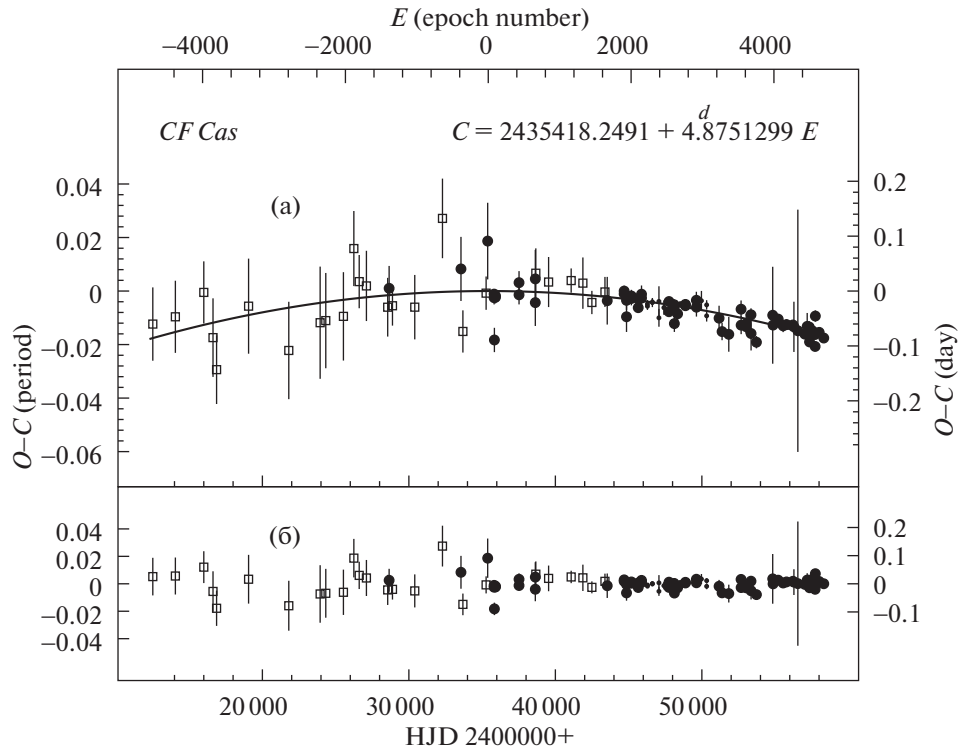


Рис. 1. Диаграмма $O - C$ для цефеиды CF Cas относительно линейных (а) и квадратичных (б) элементов (1). Линия на рис. 1а — парабола, соответствующая элементам (1).

базы данных Американской Ассоциации Наблюдателей Переменных Звезд (AAVSO) (Кафка, 2018).

Сведения о количестве использованных наблюдений приведены в табл. 2. Кроме того, методом Герцшпрунга были обработаны фотографические средние кривые блеска, которые опубликовали Паренаго и Кукаркин (1940), Романо (1959) и Зонн и Семенюк (1959).

Самая старая пластинка с изображением CF Cas, хранящаяся в Гарварде, была получена в 1889 г., а последние ПЗС-наблюдения были сделаны в 2018 г. Следовательно, наши данные охватывают временной интервал 129 лет.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты обработки сезонных кривых CF Cas приведены в табл. 3. В первой и второй колонке даны моменты максимального блеска и ошибки их определения, в третьей — тип используемых наблюдений, в четвертой и пятой — номер эпохи E и значение остатка $O - C$, а в шестой и седьмой — число наблюдений N и источник данных. Данные табл. 3 изображены на $O - C$ диаграмме (рис. 1) квадратиками (для фотографических наблюдений) и кружками (для остальных наблюдений) с вертикальными черточками, указывающими пределы ошибок определения остатков $O - C$.

На рис. 1а показано, что $O - C$ диаграмма имеет вид параболы. По моментам максимального блеска из табл. 3 получены квадратичные элементы изменения блеска цефеиды CF Cas:

$$\begin{aligned} \text{Max JD hel} = & 2435418.2491(\pm 0.0048) + & (1) \\ & + 4^d 8751299(\pm 0.0000014)E - \\ & - 0.3885 \cdot 10^{-8}(\pm 0.477 \cdot 10^{-9})E^2, \end{aligned}$$

линейная часть которых использована для вычислений остатков $O - C$ в пятом столбце табл. 3. Элементы (1) использовались для проведения параболы на рис. 1а, а на рис. 1б показаны отклонения от этой параболы.

По фотоэлектрическим наблюдениям было найдено, что максимумы в фильтре B наступают раньше, чем в фильтре V , на $0^d 0351$. Эта поправка учитывалась при построении рис. 1 и определении элементов (1), которые таким образом относятся к системе V .

Остатки $O - C$ от элементов (1) для каждого r -го максимума — $a(r)$ — были подвергнуты анализу на присутствие случайных флуктуаций пульсационного периода с помощью метода, опубликованного Эддингтоном и Плакидисом (1929). Для этого вычислялись абсолютные величины всех задержек $u(x) = |a(r+x) - a(r)|$ для максимумов, разделенных x циклами. Средние величины $\langle u(x) \rangle$

Таблица 3. Моменты максимума блеска CF Cas

Максимум, HJD	Ошибка, сут	Фильтр	E	O – C, сут	N	Источник данных
2412519.6688	0.0668	<i>PG</i>	–4697	–0.0610	28	Гарвард, данная работа
2414060.2231	0.0657	<i>PG</i>	–4381	–0.0477	30	Гарвард, данная работа
2416000.5692	0.0566	<i>PG</i>	–3983	–0.0032	33	Гарвард, данная работа
2416629.3786	0.0716	<i>PG</i>	–3854	–0.0856	25	Гарвард, данная работа
2416873.0768	0.0626	<i>PG</i>	–3804	–0.1439	15	ГАИШ, данная работа
2419057.2506	0.0866	<i>PG</i>	–3356	–0.0282	35	Гарвард, данная работа
2421801.8680	0.0887	<i>PG</i>	–2793	–0.1088	36	Гарвард, данная работа
2423942.1006	0.1022	<i>PG</i>	–2354	–0.0582	21	Гарвард, данная работа
2424327.2397	0.0868	<i>PG</i>	–2275	–0.0543	36	Гарвард, данная работа
2425531.4045	0.0805	<i>PG</i>	–2028	–0.0466	26	Гарвард, данная работа
2426243.2970	0.0684	<i>PG</i>	–1882	0.0770	23	Гарвард, данная работа
2426608.8715	0.0485	<i>PG</i>	–1807	0.0168	49	Гарвард, данная работа
2427101.2518	0.0640	<i>PG</i>	–1706	0.0090	37	Гарвард, данная работа
2428554.0017	0.0535	<i>PG</i>	–1408	–0.0298	60	Гарвард, данная работа
2428651.5387	0.0408	<i>PG</i>	–1388	0.0046	22	Паренаго и Кукаркин (1940)
2428880.6381	0.0362	<i>PG</i>	–1341	–0.0271	45	ГАИШ, данная работа
2430401.6760	0.0587	<i>PG</i>	–1029	–0.0296	57	Гарвард, данная работа
2432293.3881	0.0725	<i>PG</i>	–641	0.1321	32	Гарвард, данная работа
2433555.9547	0.0584	<i>PG</i>	–382	0.0401	70	Ерлексова (1961)
2433687.4693	0.0384	<i>PG</i>	–355	–0.0738	59	ГАИШ, данная работа
2435271.9563	0.0304	<i>PG</i>	–30	–0.0039	62	ГАИШ, данная работа
2435379.3040	0.0698	<i>PG</i>	–8	0.0909	10	Романо (1959)
2435817.9691	0.0076	<i>B</i>	82	–0.0056	29	Сэндидж (1958)
2435817.9976	0.0122	<i>V</i>	82	–0.0122	29	Сэндидж (1958)
2435837.3861	0.0222	<i>PG</i>	86	–0.1243	19	Зонн и Семенюк (1959)
2435910.5935	0.0071	<i>B</i>	101	–0.0087	31	AAVSO
2435910.6258	0.0112	<i>V</i>	101	–0.0115	31	AAVSO
2437519.3882	0.0175	<i>B</i>	431	–0.0069	20	Сэндидж и Тамман (1969)
2437519.4453	0.0210	<i>V</i>	431	0.0153	20	Сэндидж и Тамман (1969)
2438630.9036	0.0426	<i>B</i>	659	–0.0211	7	Смак (1966)
2438630.9818	0.0529	<i>V</i>	659	0.0221	7	Смак (1966)
2438665.0830	0.0453	<i>PG</i>	666	–0.0026	38	ГАИШ, данная работа
2439537.7152	0.0456	<i>PG</i>	845	–0.0186	27	ГАИШ, данная работа
2441078.2589	0.0221	<i>PG</i>	1161	–0.0160	109	ГАИШ, данная работа

Таблица 3. Продолжение

Максимум, HJD	Ошибка, сут	Фильтр	E	$O - C$, сут	N	Источник данных
2441877.7755	0.0468	<i>PG</i>	1325	-0.0206	55	ГАИШ, данная работа
2442492.0066	0.0212	<i>PG</i>	1451	-0.0559	84	ГАИШ, данная работа
2443384.1746	0.0274	<i>PG</i>	1634	-0.0367	67	ГАИШ, данная работа
2443540.1978	0.0434	<i>V</i>	1666	-0.0175	12	Харрис (1980)
2444695.5809	0.0083	<i>B</i>	1903	-0.0051	32	Мофет и Бэрнс (1984)
2444695.6212	0.0099	<i>V</i>	1903	0.0002	32	Мофет и Бэрнс (1984)
2444856.4485	0.0175	<i>B</i>	1936	-0.0167	10	Бердников (1986)
2444856.4537	0.0277	<i>V</i>	1936	-0.0466	10	Бердников (1986)
2445187.9653	0.0112	<i>B</i>	2004	-0.0088	12	Бердников (1986)
2445187.9958	0.0125	<i>V</i>	2004	-0.0133	12	Бердников (1986)
2445655.9565	0.0081	<i>B</i>	2100	-0.0301	25	Бердников (1986)
2445660.8828	0.0075	<i>V</i>	2101	-0.0140	28	Бердников (1986)
2445880.2299	0.0111	<i>B</i>	2146	-0.0126	13	Бердников (1986)
2445880.2721	0.0159	<i>V</i>	2146	-0.0055	13	Бердников (1986)
2446284.8508	0.0067	<i>B</i>	2229	-0.0275	35	Бердников (1987)
2446284.8900	0.0071	<i>V</i>	2229	-0.0234	35	Бердников (1987)
2446621.2427	0.0056	<i>B</i>	2298	-0.0195	23	Бердников (1992б)
2446621.2766	0.0083	<i>V</i>	2298	-0.0207	23	Бердников (1992б)
2447069.7257	0.0162	<i>B</i>	2390	-0.0485	9	Бердников (1992в)
2447069.7907	0.0275	<i>V</i>	2390	-0.0185	9	Бердников (1992в)
2447420.7539	0.0129	<i>B</i>	2462	-0.0296	42	Бердников (1992г)
2447420.7883	0.0127	<i>V</i>	2462	-0.0302	41	Бердников (1992г)
2447757.1487	0.0073	<i>B</i>	2531	-0.0188	45	Бердников (1992д)
2447757.1651	0.0087	<i>V</i>	2531	-0.0374	44	Бердников (1992д)
2448113.0272	0.0102	<i>B</i>	2604	-0.0247	22	Бердников (1992е)
2448113.0571	0.0096	<i>V</i>	2604	-0.0299	22	Бердников (1992е)
2448122.7782	0.0152	<i>V</i>	2606	-0.0590	78	Hipparcos
2448342.1769	0.0128	<i>V</i>	2651	-0.0412	136	Hipparcos
2448512.7885	0.0052	<i>B</i>	2686	-0.0241	43	Бердников (1992ж)
2448512.8239	0.0056	<i>V</i>	2686	-0.0237	43	Бердников (1992ж)
2448878.4233	0.0061	<i>B</i>	2761	-0.0240	31	Бердников (1993)
2448878.4559	0.0067	<i>V</i>	2761	-0.0264	31	Бердников (1993)
2449624.3607	0.0155	<i>V</i>	2914	-0.0165	23	Бердников и Возякова (1995)
2449629.1882	0.0171	<i>B</i>	2915	-0.0290	23	Бердников и Возякова (1995)

Таблица 3. Окончание

Максимум, HJD	Ошибка, сут	Фильтр	Е	$O - C$, сут	N	Источник данных
2449970.4941	0.0179	V	2985	-0.0173	29	Бердников и др. (1997)
2450326.3360	0.0086	B	3058	-0.0248	39	Бердников и др. (1998)
2450326.3511	0.0104	V	3058	-0.0448	38	Бердников и др. (1998)
2451174.6194	0.0227	V	3232	-0.0490	46	AAVSO
2451379.3504	0.0157	V	3274	-0.0734	41	AAVSO
2451837.6077	0.0317	V	3368	-0.0784	25	AAVSO
2452676.1758	0.0159	V	3540	-0.0326	48	INTEGRAL-OMC
2452681.0219	0.0164	V	3541	-0.0617	30	AAVSO
2453022.2782	0.0114	V	3611	-0.0645	51	AAVSO
2453027.1586	0.0183	V	3612	-0.0592	88	INTEGRAL-OMC
2453353.8087	0.0118	V	3679	-0.0428	222	INTEGRAL-OMC
2453358.6497	0.0309	V	3680	-0.0769	46	AAVSO
2453724.2686	0.0112	V	3755	-0.0927	335	INTEGRAL-OMC
2454835.8473	0.0883	V	3983	-0.0435	4	AAVSO
2454860.2050	0.0043	V	3988	-0.0615	11	AAVSO
2455211.2252	0.0097	V	4060	-0.0506	132	INTEGRAL-OMC
2455547.5969	0.0114	V	4129	-0.0629	196	INTEGRAL-OMC
2455776.7304	0.0095	V	4176	-0.0605	121	INTEGRAL-OMC
2456215.4914	0.0056	V	4266	-0.0612	117	Данная работа
2456283.7398	0.0458	V	4280	-0.0646	24	INTEGRAL-OMC
2456551.8647	0.2207	V	4335	-0.0718	22	INTEGRAL-OMC
2457029.6214	0.0090	V	4433	-0.0778	50	ASAS-SN
2457190.5148	0.0244	V	4466	-0.0637	52	INTEGRAL-OMC
2457292.8813	0.0026	V	4487	-0.0749	275	ASAS-SN
2457331.8923	0.0106	V	4495	-0.0649	34	AAVSO
2457341.5966	0.0044	B	4497	-0.0759	44	AAVSO
2457351.3484	0.0020	B	4499	-0.0743	175	AAVSO
2457351.3657	0.0021	V	4499	-0.0921	206	AAVSO
2457546.3910	0.0104	V	4539	-0.0720	309	INTEGRAL-OMC
2457658.5129	0.0021	V	4562	-0.0781	345	ASAS-SN
2457731.6044	0.0038	B	4577	-0.0785	91	AAVSO
2457731.6176	0.0062	V	4577	-0.1003	69	AAVSO
2457746.2984	0.0103	V	4580	-0.0449	166	INTEGRAL-OMC
2458009.5257	0.0018	V	4634	-0.0746	365	ASAS-SN
2458321.5237	0.0049	V	4698	-0.0849	109	ASAS-SN

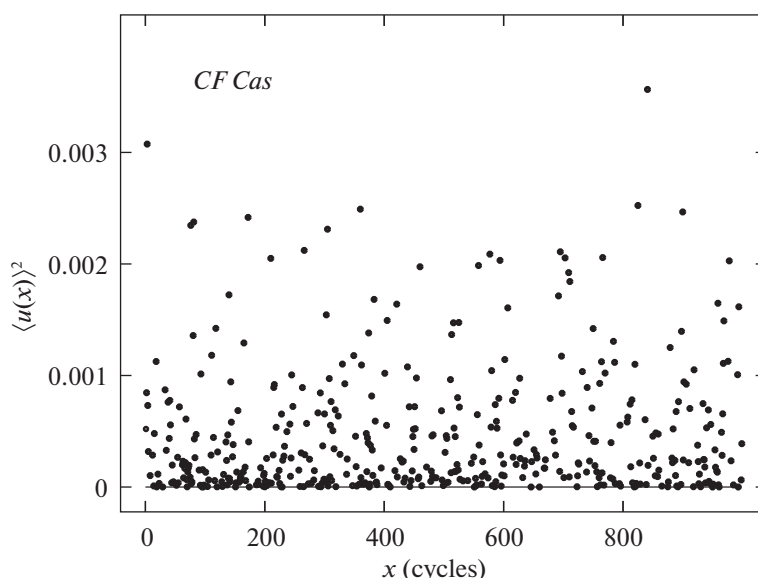


Рис. 2. Зависимость квадрата средней накопленной задержки $\langle u(x) \rangle^2$ от разности циклов x для цефеиды CF Cas. Отсутствие линейного тренда указывает на отсутствие случайных флуктуаций периода.

всех накопленных задержек, согласно Эддингтону и Плакидису (1929), должны быть связаны со случайной флуктуацией периода ε соотношением

$$\langle u(x) \rangle^2 = 2\alpha^2 + x\varepsilon^2, \quad (2)$$

где α характеризует величину случайных ошибок измеренных моментов максимального блеска.

Строго говоря, метод Эддингтона и Плакидиса применим для обработки остатков $O - C$ индивидуальных последовательных максимумов блеска; в крайнем случае, можно использовать максимумы блеска, определенные по средней кривой, охватывающей интервал времени в несколько периодов. Фотографические наблюдения не удовлетворяют таким условиям, поэтому мы использовали остатки $O - C$, полученные только по наблюдениям в фильтре V .

Результаты вычислений, представленные на рис. 2, указывают на отсутствие линейного тренда

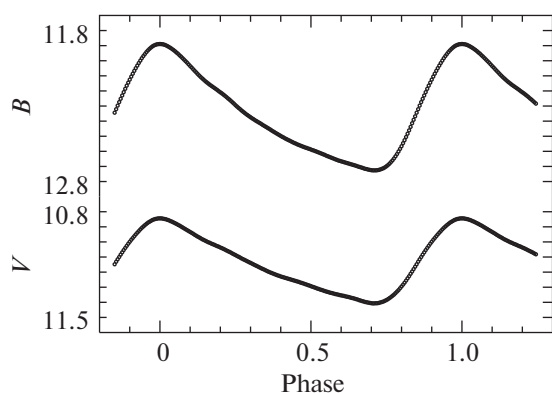


Рис. 3. Стандартные кривые цефеиды CF Cas.

$\langle u(x) \rangle^2$, а следовательно, и случайных флуктуаций пульсационного периода, т.е. парабола на диаграмме $O - C$ отражает реальное эволюционное уменьшение периода.

Квадратичный член элементов (1) дает возможность вычислить скорость эволюционного уменьшения периода $dP/dt = -0.050 (\pm 0.006)$ с/год, что соответствует теоретическим расчетам для второго пересечения полосы нестабильности (Тэрнер и др., 2006; Фадеев, 2014).

Следует отметить, что полученные здесь результаты основаны на конкретных стандартных кривых. Поэтому мы приводим их в табл. 4, с тем чтобы их можно было использовать в будущих исследованиях, а также для установления связи с нашими данными, если будут использоваться другие стандартные кривые. В табл. 4 представлены звездные величины CF Cas для фаз от 0 до 0.995 с шагом 0.005 в системе B и V ; эти стандартные кривые, графически изображенные на рис. 3, построены по фотоэлектрическим наблюдениям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для изучения изменчивости периода CF Cas нами было сделано 1089 глазомерных оценок блеска на старых фотопластинках университета Гарварда (США) и ГАИШ, а также получено 230 ПЗС-снимков в фильтрах VI_c на 60-см телескопе Майданакской астрономической обсерватории; кроме того, было собрано 5039 опубликованных наблюдений. Все имеющиеся данные, охватывающие временной интервал с 1889 по 2018 г., были обработаны методом Герцшпрунга (1919), и были

Таблица 4. Стандартные кривые блеска CF Cas в системе *B* и *V*

Фаза	<i>B</i>	<i>V</i>	Фаза	<i>B</i>	<i>V</i>	Фаза	<i>B</i>	<i>V</i>	Фаза	<i>B</i>	<i>V</i>
0.000	11.889	10.844	0.250	12.294	11.087	0.500	12.588	11.293	0.750	12.699	11.385
0.005	11.890	10.844	0.255	12.303	11.093	0.505	12.592	11.297	0.755	12.691	11.379
0.010	11.891	10.846	0.260	12.312	11.098	0.510	12.595	11.300	0.760	12.682	11.372
0.015	11.894	10.848	0.265	12.320	11.103	0.515	12.599	11.304	0.765	12.671	11.365
0.020	11.898	10.850	0.270	12.329	11.109	0.520	12.603	11.308	0.770	12.660	11.357
0.025	11.903	10.854	0.275	12.337	11.114	0.525	12.607	11.311	0.775	12.647	11.349
0.030	11.909	10.857	0.280	12.345	11.119	0.530	12.611	11.315	0.780	12.633	11.339
0.035	11.915	10.862	0.285	12.353	11.124	0.535	12.615	11.318	0.785	12.618	11.329
0.040	11.922	10.866	0.290	12.360	11.129	0.540	12.619	11.321	0.790	12.601	11.319
0.045	11.929	10.871	0.295	12.367	11.134	0.545	12.623	11.325	0.795	12.584	11.307
0.050	11.937	10.876	0.300	12.374	11.139	0.550	12.628	11.328	0.800	12.566	11.295
0.055	11.946	10.881	0.305	12.381	11.144	0.555	12.632	11.331	0.805	12.546	11.283
0.060	11.954	10.887	0.310	12.387	11.149	0.560	12.636	11.334	0.810	12.526	11.270
0.065	11.964	10.892	0.315	12.394	11.154	0.565	12.640	11.337	0.815	12.505	11.256
0.070	11.973	10.898	0.320	12.400	11.159	0.570	12.644	11.339	0.820	12.483	11.241
0.075	11.983	10.904	0.325	12.406	11.164	0.575	12.648	11.342	0.825	12.461	11.227
0.080	11.993	10.910	0.330	12.412	11.169	0.580	12.652	11.345	0.830	12.438	11.211
0.085	12.003	10.916	0.335	12.418	11.174	0.585	12.656	11.347	0.835	12.414	11.196
0.090	12.013	10.922	0.340	12.425	11.179	0.590	12.660	11.349	0.840	12.391	11.180
0.095	12.024	10.928	0.345	12.431	11.183	0.595	12.663	11.352	0.845	12.368	11.164
0.100	12.035	10.934	0.350	12.437	11.188	0.600	12.666	11.354	0.850	12.344	11.148
0.105	12.045	10.940	0.355	12.443	11.193	0.605	12.669	11.356	0.855	12.321	11.131
0.110	12.056	10.946	0.360	12.449	11.198	0.610	12.672	11.358	0.860	12.297	11.115
0.115	12.067	10.953	0.365	12.455	11.202	0.615	12.675	11.361	0.865	12.274	11.100
0.120	12.077	10.959	0.370	12.462	11.206	0.620	12.678	11.363	0.870	12.252	11.084
0.125	12.088	10.965	0.375	12.468	11.210	0.625	12.681	11.365	0.875	12.230	11.069
0.130	12.098	10.970	0.380	12.474	11.214	0.630	12.684	11.368	0.880	12.208	11.054
0.135	12.108	10.976	0.385	12.480	11.218	0.635	12.687	11.371	0.885	12.186	11.040
0.140	12.117	10.982	0.390	12.486	11.222	0.640	12.690	11.373	0.890	12.165	11.026
0.145	12.126	10.987	0.395	12.492	11.225	0.645	12.693	11.376	0.895	12.145	11.012
0.150	12.135	10.992	0.400	12.498	11.229	0.650	12.696	11.379	0.900	12.125	10.999
0.155	12.143	10.997	0.405	12.504	11.232	0.655	12.700	11.382	0.905	12.105	10.986
0.160	12.151	11.002	0.410	12.509	11.235	0.660	12.703	11.386	0.910	12.086	10.974

Таблица 4. Окончание

Фаза	<i>B</i>	<i>V</i>	Фаза	<i>B</i>	<i>V</i>	Фаза	<i>B</i>	<i>V</i>	Фаза	<i>B</i>	<i>V</i>
0.165	12.159	11.006	0.415	12.515	11.238	0.665	12.706	11.389	0.915	12.067	10.962
0.170	12.166	11.011	0.420	12.520	11.241	0.670	12.709	11.392	0.920	12.049	10.950
0.175	12.173	11.015	0.425	12.525	11.244	0.675	12.713	11.395	0.925	12.032	10.939
0.180	12.180	11.019	0.430	12.530	11.247	0.680	12.716	11.398	0.930	12.015	10.928
0.185	12.187	11.024	0.435	12.535	11.250	0.685	12.718	11.400	0.935	11.999	10.917
0.190	12.194	11.028	0.440	12.540	11.253	0.690	12.721	11.402	0.940	11.983	10.907
0.195	12.202	11.032	0.445	12.545	11.256	0.695	12.723	11.404	0.945	11.969	10.898
0.200	12.209	11.037	0.450	12.549	11.259	0.700	12.725	11.406	0.950	11.956	10.889
0.205	12.216	11.041	0.455	12.554	11.262	0.705	12.726	11.407	0.955	11.943	10.881
0.210	12.224	11.046	0.460	12.558	11.265	0.710	12.726	11.407	0.960	11.932	10.873
0.215	12.232	11.051	0.465	12.562	11.269	0.715	12.726	11.406	0.965	11.922	10.867
0.220	12.240	11.056	0.470	12.566	11.272	0.720	12.725	11.406	0.970	11.913	10.861
0.225	12.249	11.061	0.475	12.570	11.275	0.725	12.723	11.404	0.975	11.905	10.855
0.230	12.257	11.066	0.480	12.574	11.279	0.730	12.720	11.401	0.980	11.899	10.851
0.235	12.266	11.071	0.485	12.577	11.282	0.735	12.716	11.398	0.985	11.895	10.848
0.240	12.275	11.077	0.490	12.581	11.286	0.740	12.712	11.395	0.990	11.891	10.846
0.245	12.284	11.082	0.495	12.584	11.289	0.745	12.706	11.390	0.995	11.890	10.844

определены 103 момента максимального блеска для построения $O - C$ диаграммы, охватывающей временной интервал 129 лет. Это позволило определить квадратичные элементы изменения блеска (1) и вычислить скорость эволюционного уменьшения периода $dP/dt = -0.050 (\pm 0.006)$ с/год, что согласуется с результатами теоретических расчетов для второго пересечения полосы неустойчивости (Тэрнер и др., 2006; Фадеев, 2014). Имеющиеся данные, обработанные методом Эддингтона и Плакидиса (1929), свидетельствуют об отсутствии случайных флуктуаций периода пульсаций, т.е. парабола на диаграмме $O - C$ отражает реальное эволюционное уменьшение периода.

Мы благодарны Американской ассоциации наблюдателей переменных звезд (AAVSO) за возможность использования наблюдений из их Международной базы данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альфонсо-Гарсон и др. (J. Alfonso-Garzon, A. Domingo, J.M. Mas-Hesse, and A. Gimenez), *Astron. Astrophys.* **548**, A79 (2012).
2. Белявский (S. Beljawsky), *Astron. Nachr.* **243**, 115 (1931).
3. Бердников Л.Н., *Переменные звезды* **22**, 369 (1986).
4. Бердников Л.Н., *Переменные звезды* **22**, 530 (1987).
5. Бердников Л.Н., *Письма в Астрон. журн.* **18**, 519 (1992a) [L.N. Berdnikov, *Sov. Astron.* **18**, 207 (1992)].
6. Бердников (L. N. Berdnikov), *Astron. Astrophys. Trans.* **2**, 1 (1992b).
7. Бердников (L.N. Berdnikov), *Astron. Astrophys. Trans.* **2**, 31 (1992в).
8. Бердников (L.N. Berdnikov), *Astron. Astrophys. Trans.* **2**, 43 (1992г).
9. Бердников (L.N. Berdnikov), *Astron. Astrophys. Trans.* **2**, 107 (1992д).
10. Бердников (L.N. Berdnikov), *Astron. Astrophys. Trans.* **2**, 157 (1992e).
11. Бердников Л.Н., *Письма в Астрон. журн.* **18**, 325 (1992) [L.N. Berdnikov, *Sov. Astron. Lett.* **18**, 130 (1992ж)].
12. Бердников Л.Н., *Письма в Астрон. журн.* **19**, 210 (1993) [L.N. Berdnikov, *Sov. Astron. Lett.* **19**, 84 (1993)].

13. Бердников и др. (L.N. Berdnikov, V.V. Ignatova, and O.V. Vozyakova), *Astron. Astrophys. Trans.* **14**, 237 (1997).
14. Бердников и др. (L.N. Berdnikov, V.V. Ignatova, and O.V. Vozyakova), *Astron. Astrophys. Trans.* **17**, 87 (1998).
15. Бердников Л.Н., Возякова О.В., Письма в Астрон. журн. **21**, 348 (1995). [L.N. Berdnikov, O.V. Voziakova, *Astron. Lett.* **21**, 308 (1995)].
16. Герцшпрунг (E. Hertzsprung), *Astron. Nachr.* **210**, 17 (1919).
17. ЕКА (ESA), The Hipparcos and Tycho Catalogues, ESA SP-1200 (Noordwijk: ESA, 1997).
18. Ерлексова Г.Е., Бюл. Инст. Астрофиз. АН Тадж. ССР No. 30, 28 (1961).
19. Зонн, Семенюк (W. Zonn and I. Semeniuk), *Acta Astron.* **9**, 41 (1959).
20. Казинс (A.W.J. Cousins), *Mem. RAS* **81**, 25 (1976).
21. Кафка (S. Kafka), The AAVSO International Database. <https://www.aavso.org>. (2018).
22. Кочанек и др. (C.S. Kochanek, B.J. Shappee, K.Z. Stanek, T.W.-S. Holoiien, A. Thompson Todd, J.L. Prieto, Dong Subo, J.V. Shields, et al.), *Publ. Astron. Soc. Pacific* **129**:104502 (2017).
23. Ланге (G. Lange), *Leningrad Univ. Astr. Obs. Bull.* № 2, 91 (1933).
24. Мофет, Бэрнс (T.J. Moffett and T.G. Barnes), *Astrophys. J.* **55**, 389 (1984).
25. Паренаго П., Кукаркин Б.В., *Переменные звезды* **5**, 331 (1940).
26. Пейн-Гапошкина, Гапошкин (C. Payne-Gaposhkin and S. Gaposhkin), *Publ. Astron. Soc. Pacific* **75**, 193 (1963).
27. Романо (G. Romano), *Publ. Osserv. Astron. Padova* № 116, 3 (1959).
28. Смак (J. Smak), *Acta Astron.* **16**, 11 (1966).
29. Сэндидж (A. Sandage), *Astrophys. J.* **128**, 150 (1958).
30. Сэндидж, Тамман (A. Sandage and G.A. Tammann), *Astrophys. J.* **157**, 683 (1969).
31. Тэрнер и др. (D.G. Turner, M. Abdel-Sabour Abdel-Latif, and L.N. Berdnikov), *Publ. Astron. Soc.* **118**, 410 (2006).
32. Фадеев Ю.А., Письма в Астрон. журн. **40**, 341 (2014) [Yu.A. Fadeyev, *Astron. Lett.* **40**, 301 (2014)].
33. Харрис (H.C. Harris), Theses (Univer. Washington, 1980).
34. Хоффмайстер (C. Hoffmeister), *Mitt. Veraenderl. Sterne* **7**, № 12 (1942).
35. Шепи и др. (B.J. Shappee, J.L. Prieto, D. Grupe, C.S. Kochanek, K.Z. Stanek, G. De Rosa, S. Mathur, Y. Zu, et al.), *Astrophys. J.* **788**:48, (2014).
36. Эддингтон, Плакидис (A.S. Eddington and S. Plakidis), *MNRAS* **90**, 65 (1929).