

УДК 524.333КНСеп-56-16:52-54

ПОИСК ЭВОЛЮЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПЕРИОДА КЛАССИЧЕСКОЙ ЦЕФЕИДЫ КНСЕП

© 2024 Л. Н. Бердников^{1*}, А. К. Дамбис¹¹Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, Москва, 119234 Россия

Поступила в редакцию 12 мая 2023 года; после доработки 12 сентября 2023 года; принята к публикации 21 сентября 2023 года

Обработка всей имеющейся фотометрии цефеиды КНСеп позволила построить ее ($O - C$)-диаграмму, охватывающую временной интервал 134 года. Это позволило впервые вычислить скорость эволюционного увеличения периода $dP/dt = +2.91 (\pm 1.68)$ с год⁻¹, что согласуется с результатами модельных расчетов для третьего пересечения полосы неустойчивости. Тест на стабильность пульсаций, предложенный Ломбардом и Коэном, подтвердил реальность эволюционного изменения периода.

Ключевые слова: звезды: переменные: цефеиды — звезды: эволюция

1. ВВЕДЕНИЕ

Согласно теории звездной эволюции, чем больше масса (а значит, и период) цефеиды, тем быстрее она эволюционирует и тем легче обнаружить эволюционные изменения ее периода (параболу на ее ($O - C$)-диаграмме); в частности, для цефеид с периодами больше 30 дней параболы должны быть обнаружимы уже на 30-летнем интервале времени (Ferne, 1990).

Однако изучение периодов четырнадцати таких цефеид (см. таблицу 1) показало, что случайные флуктуации периодов шести из них искажают их ($O - C$)-диаграммы настолько, что их параболическая форма становится обнаруживаемой только на интервале времени порядка столетия, а для двух цефеид (EV Aql и V1496 Aql) не заметна вообще. Чтобы понять причину такого несоответствия, необходимо увеличить статистику. Поэтому в данной работе мы исследуем поведение пульсаций цефеиды КНСеп, период изменения блеска которой составляет 34^d03.

2. МЕТОДИКА И ИСПОЛЬЗУЕМЫЙ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Переменность КНСеп открыла Swope (1931) и классифицировала ее как цефеиду с периодом 34^d02. Изучением изменчивости периода этой цефеиды занимались Szabados (1989), который не обнаружил эволюционных изменений периода на 30-летнем интервале, и Csörgyei et al. (2022),

которые на интервале времени около 66 лет нашли уменьшение периода со скоростью около 50 с год⁻¹.

Для изучения периода КНСеп мы собрали опубликованные фотоэлектрические и ПЗС-наблюдения в фильтрах B и V , а также фотоэлектрические наблюдения из каталога Hipparcos (ESA, 1997) и ПЗС-наблюдения из обзоров INTEGRAL-OMC (Alfonso-Garzón et al., 2012), ASAS-3 (Pojmanski, 2002) и ASAS-SN (Jayasinghe et al., 2019), полученные в полосах, близких к V и g' . Мы также использовали сделанные нами глазомерные оценки блеска на фотопластинках коллекции университета Гарварда (США).

Сведения о количестве использованных наблюдений приведены в таблице 1: самая старая фотопластинка с изображением КНСеп, хранящаяся в Гарварде, была получена в 1889 г., а последние ПЗС-наблюдения были сделаны в 2023 г. Следовательно, наши данные охватывают временной интервал 134 года.

Для изучения изменчивости периодов цефеид мы применяем общепринятую методику анализа ($O - C$)-диаграмм, а самым точным методом определения остатков $O - C$ является метод Герцшпрунга (Hertzsprung, 1919), машинная реализация которого описана в работе Berdnikov (1992). Для подтверждения реальности обнаруженных изменений периода мы используем метод, описанный Lombard and Koen (1993).

*E-mail: lberdnikov@yandex.ru

Таблица 1. Периоды пульсаций цефеид по литературным данным

Объект	Период, дни	Ссылка	Объект	Период, дни	Ссылка	Объект	Период, дни	Ссылка
EV Aql	38.7	[1]	V609 Cyg	31.1	[6]	GY Sge	51.5	[11]
V1496 Aql	65.4	[2]	V1467 Cyg	48.6	[7]	S Vul	68.0	[12, 13]
II Car	64.4	[3]	V2641 Oph	38.9	[8]	SV Vul	45.1	[14]
V708 Car	51.4	[4]	RS Pup	41.4	[9]	ET Vul	53.8	[15]
V396 Cyg	33.3	[5]	CE Pup	49.3	[10]			

[1] — Berdnikov (2020), [2] — Berdnikov et al. (2004), [3] — Berdnikov and Turner (2010), [4] — Berdnikov (2010), [5] — Berdnikov and Pastukhova (2012), [6] — Berdnikov et al. (2019), [7] — Berdnikov et al. (2020), [8] — Berdnikov et al. (2009b), [9] — Berdnikov et al. (2009a), [10] — Berdnikov (2021), [11] — Berdnikov et al. (2007), [12] — Mahmoud and Szabados (1980), [13] — Berdnikov (1994), [14] — Turner and Berdnikov (2004), [15] — Berdnikov and Pastukhova (2020).

Таблица 2. Наблюдательный материал цефеиды КN Cen

Источник данных	Число наблюдений	Полоса наблюдений	Интервал JD
Гарвард	729	Фотографические, <i>pg</i>	2411147–2440745
Литература	886	Фотоэлектрические и ПЗС, <i>BV</i>	2434561–2456791
Hipparcos	175	Фотоэлектрические, <i>V</i>	2447881–2449012
ASAS-3	982	ПЗС, <i>V</i>	2451877–2455088
INTEGRAL-OMC	3571	ПЗС, <i>V</i>	2452831–2459225
ASAS-SN	3462	ПЗС, <i>Vg'</i>	2457447–2460037

3. ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты обработки сезонных кривых КN Cen приведены в таблице 3. Данные таблицы 3 изображены на ($O - C$)-диаграмме (рис. 1) квадратиками для фотографических наблюдений и точками для остальных наблюдений с вертикальными черточками, указывающими пределы ошибок определения остатков $O - C$.

По моментам максимального блеска из таблицы 3 получены квадратичные элементы изменения блеска цефеиды КN Cen:

$$\begin{aligned} \text{HJD}(\max) &= 2435967.5649 (\pm 0.230) \\ &+ 34^{\text{d}}03119526 (\pm 0.00036) E \\ &+ 0.1570911 \times 10^{-5} (\pm 0.905 \times 10^{-6}) E^2, \end{aligned} \quad (1)$$

линейная часть которых использована для вычисления остатков $O - C$ в столбце (5) таблицы 3. Элементы уравнения (1) использовались для проведения параболы на рис. 1а; на рис. 1б показаны отклонения от этой параболы, которые указывают на возможные волнообразные изменения периода с циклом около 40 000 суток.

По фотоэлектрическим и ПЗС-наблюдениям было найдено, что максимумы в фильтрах *B* и *g'* наступают раньше, чем в фильтре *V*, на $0^{\text{d}}0919$ и

$0^{\text{d}}1082$ соответственно. Эти поправки учитывались при построении рис. 1 и определении элементов уравнения (1), которые, таким образом, относятся к системе *V*.

Для подтверждения реальности изменений периода пульсаций мы используем метод, опубликованный Lombard and Koen (1993). Для этого мы вычислили разности $\Delta(O - C)_i$ последовательных остатков $O - C$ из таблицы 3, $\Delta(O - C)_i = (O - C)_{i+1} - (O - C)_i$, и построили график зависимости $P'_i = \Delta(O - C)_i / (E_{i+1} - E_i)$ от $E'_i = (E_i + E_{i+1})/2$ (рис. 2). Значения P'_i , которые имеют смысл среднего периода в интервале эпох $E_i - E_{i+1}$, соответствуют поведению остатков $O - C$ на рис. 1.

Квадратичный член элементов (1) дает возможность вычислить скорость эволюционного увеличения периода $dP/dt = +2.91 (\pm 1.68)$ с год $^{-1}$, что сильно отличается от значения $dP/dt = -50$ с год $^{-1}$, найденного Csörnyei et al. (2022) по диаграмме ($O - C$), которая покрывает правую половину рис. 1, — там даже знак другой. Это типичная ошибка, когда эволюционные изменения периода ищутся на ($O - C$)-диаграмме, охватывающей интервал времени всего в несколько десятков лет, как в случаях DX Gem (Berdnikov, 2019a) и BY Cas (Berdnikov, 2019b).

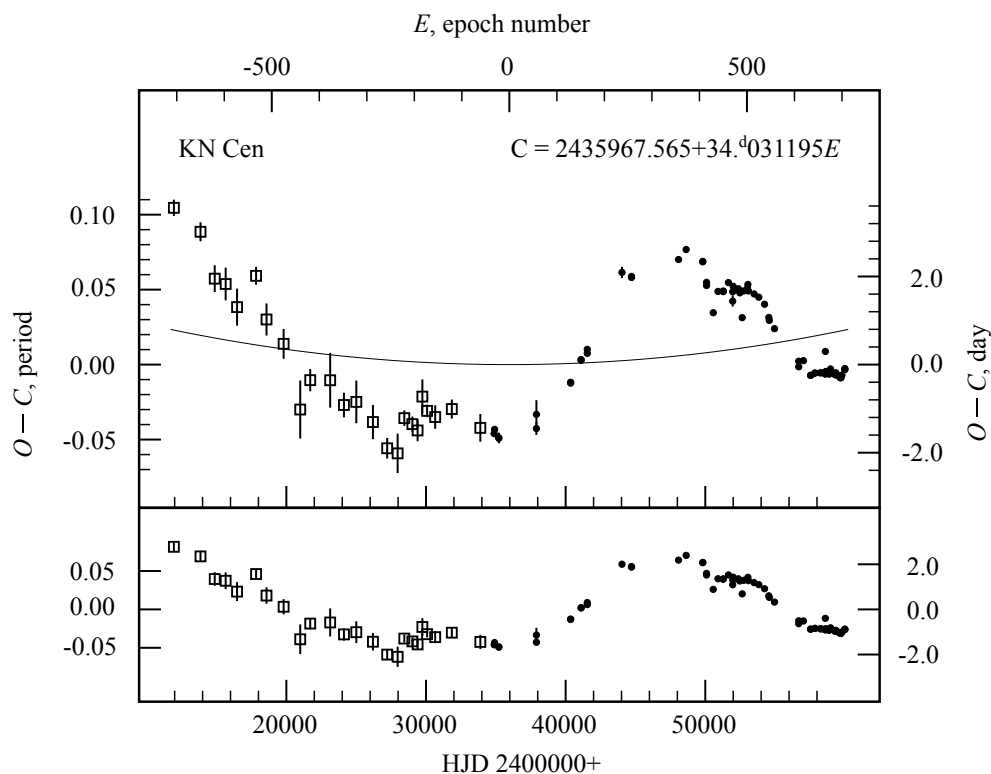


Рис. 1. ($O - C$)-диаграмма для цефеиды КН Сеп относительно линейных (а) и квадратичных (б) элементов (1). Линия — парабола, соответствующая элементам (1).

Таблица 3. Моменты максимума блеска КН Сеп. В колонках даны: (1) и (2) — моменты максимального блеска и ошибки их определения, (3) — тип используемых наблюдений, (4) и (5) — номер эпохи E и значение остатка $O - C$, (6) и (7) — число наблюдений N и источник данных

Максимум, HJD	Ошибка, сут	Фильтр	E	$O - C$, сут	N	Источник данных
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
2411945.0076	0.1852	<i>pg</i>	-697	3.7605	16	[1]
2413850.2108	0.2164	<i>pg</i>	-641	3.2121	27	[1]
2414870.0828	0.3041	<i>pg</i>	-611	2.1458	18	[1]
2415652.6794	0.3720	<i>pg</i>	-588	2.0229	23	[1]
2416468.9028	0.4208	<i>pg</i>	-564	1.4956	29	[1]
2417830.8603	0.2021	<i>pg</i>	-524	2.2020	72	[1]
2418578.5564	0.3643	<i>pg</i>	-502	1.2100	22	[1]
2419803.1267	0.3381	<i>pg</i>	-466	0.6542	21	[1]
2420992.7271	0.6582	<i>pg</i>	-431	-0.8401	20	[1]
2421708.0494	0.2525	<i>pg</i>	-410	-0.1747	23	[1]
2423137.3572	0.6223	<i>pg</i>	-368	-0.1805	22	[1]
2424123.7001	0.2799	<i>pg</i>	-339	-0.7447	19	[1]
2425008.5817	0.4841	<i>pg</i>	-313	-0.6764	25	[1]
2426199.2166	0.3879	<i>pg</i>	-278	-1.1363	28	[1]
2427219.5563	0.2344	<i>pg</i>	-248	-1.7349	33	[1]
2427968.1275	0.4469	<i>pg</i>	-226	-1.8518	27	[1]
2428445.3634	0.1759	<i>pg</i>	-212	-1.0538	38	[1]
2429023.7576	0.1723	<i>pg</i>	-195	-1.1913	60	[1]
2429397.9580	0.2462	<i>pg</i>	-184	-1.3350	38	[1]

Таблица 3. (Продолжение)

Максимум, HJD	Ошибка, сут	Фильтр	E	$O - C$, сут	N	Источник данных
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
2429739.0376	0.3899	<i>pg</i>	-174	-0.5682	23	[1]
2430079.0257	0.1431	<i>pg</i>	-164	-0.8929	34	[1]
2430657.4157	0.2662	<i>pg</i>	-147	-1.0345	31	[1]
2431848.6895	0.2159	<i>pg</i>	-112	-0.8555	60	[1]
2433890.1340	0.3141	<i>pg</i>	-52	-1.2877	20	[1]
2434876.9082	0.0738	<i>B</i>	-23	-1.4206	8	[2]
2434911.1274	0.0547	<i>V</i>	-22	-1.3245	7	[2]
2435217.1142	0.1143	<i>B</i>	-13	-1.5274	17	[3]
2435217.2167	0.1176	<i>V</i>	-13	-1.5167	17	[3]
2437905.7999	0.1466	<i>B</i>	66	-1.3127	9	[4]
2437906.2125	0.3225	<i>V</i>	66	-0.9919	10	[4]
2440357.0772	0.0404	<i>B</i>	138	-0.2874	9	[5]
2440357.1870	0.0526	<i>V</i>	138	-0.2695	9	[5]
2441106.2829	0.0260	<i>B</i>	160	0.2301	48	[6]
2441106.3894	0.0221	<i>V</i>	160	0.2448	48	[6]
2441548.9355	0.0597	<i>B</i>	173	0.4761	10	[7]
2441548.9370	0.0291	<i>V</i>	173	0.3857	11	[7]
2444035.0504	0.1284	<i>V</i>	246	2.2158	7	[8]
2444715.4676	0.0284	<i>B</i>	266	2.0994	42	[9]
2444715.5825	0.0206	<i>V</i>	266	2.1223	48	[9]
2448085.0555	0.0329	<i>V</i>	365	2.4988	89	[10]
2448629.7807	0.0525	<i>V</i>	381	2.7235	86	[10]
2449820.5107	0.0178	<i>B</i>	416	2.4507	28	[11]
2449820.5944	0.0177	<i>V</i>	416	2.4425	29	[11]
2450092.2137	0.0393	<i>B</i>	424	1.9034	23	[12]
2450092.3783	0.0514	<i>V</i>	424	1.9761	23	[12]
2450568.1256	0.0297	<i>V</i>	438	1.2856	26	[13]
2450908.9204	0.0203	<i>V</i>	448	1.7675	50	[14]
2451283.1815	0.0113	<i>B</i>	459	1.7765	53	[14]
2451283.2599	0.0106	<i>V</i>	459	1.7630	53	[14]
2451657.8076	0.0270	<i>V</i>	470	1.9667	42	[15]
2451963.6659	0.1233	<i>V</i>	479	1.5434	13	[16]
2451963.7879	0.0812	<i>B</i>	479	1.7574	13	[16]
2451998.0343	0.0212	<i>V</i>	480	1.8806	112	[17]
2452372.2292	0.0170	<i>B</i>	491	1.8233	48	[18]
2452372.2993	0.0192	<i>V</i>	491	1.8015	48	[18]
2452474.3233	0.0512	<i>V</i>	494	1.7317	44	[17]
2452643.9156	0.0452	<i>V</i>	499	1.1676	23	[19]
2452746.6151	0.0137	<i>V</i>	502	1.7733	165	[17]
2453018.9270	0.0383	<i>V</i>	510	1.8349	20	[20]
2453053.0426	0.0197	<i>V</i>	511	1.9192	773	[21]
2453086.9274	0.0187	<i>V</i>	512	1.7727	115	[17]
2453495.2340	0.0204	<i>V</i>	524	1.7040	142	[17]
2453835.4726	0.0194	<i>V</i>	534	1.6299	103	[17]
2454243.6870	0.0222	<i>V</i>	546	1.4689	117	[17]
2454549.6672	0.0140	<i>V</i>	555	1.1675	1419	[21]

Таблица 3. (Продолжение)

Максимум, HJD	Ошибка, сут	Фильтр	E	$O - C$, сут	N	Источник данных
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
2454583.6317	0.0252	V	556	1.1008	102	[17]
2454957.7871	0.0323	V	567	0.9121	82	[17]
2456692.5128	0.0260	V	618	0.0426	48	[22]
2456692.5479	0.0229	B	618	0.1696	46	[22]
2457032.9642	0.0351	V	628	0.1813	357	[21]
2457543.0980	0.0449	V	643	-0.1541	111	[23]
2457543.0981	0.0447	V	643	-0.1541	112	[23]
2457849.4307	0.0210	V	652	-0.1029	252	[23]
2457849.4319	0.0202	V	652	-0.1017	268	[23]
2458223.7787	0.0188	V	663	-0.0990	320	[23]
2458325.7651	0.0133	g'	666	-0.0982	59	[23]
2458597.9855	0.0092	g'	674	-0.1281	308	[23]
2458597.9990	0.0186	g'	674	-0.1146	212	[23]
2458598.6081	0.0145	V	674	0.3864	1022	[21]
2458632.0771	0.0319	g'	675	-0.0677	128	[23]
2458870.2341	0.0392	g'	682	-0.1296	53	[23]
2458904.3334	0.0122	g'	683	-0.0616	71	[23]
2458972.4459	0.0258	g'	685	-0.0117	79	[23]
2459278.6070	0.0078	g'	694	-0.1321	268	[23]
2459312.6235	0.0197	g'	695	-0.1469	195	[23]
2459346.7020	0.0134	g'	696	-0.0997	114	[23]
2459448.7417	0.0167	g'	690	-0.2398	56	[23]
2459618.8674	0.0124	g'	695	-0.2700	144	[23]
2459652.8719	0.0301	g'	696	-0.2967	169	[23]
2459720.9306	0.0136	g'	698	-0.3003	136	[23]
2459720.9681	0.0312	g'	698	-0.2629	91	[23]
2459789.0568	0.0289	g'	700	-0.2365	67	[23]
2459993.3654	0.0353	g'	706	-0.1151	35	[23]
2459993.3762	0.0456	g'	706	-0.1043	84	[23]
2459993.3919	0.0128	g'	706	-0.0887	130	[23]

[1] — Гарвард (данная работа), [2] — Walraven et al. (1958), [3] — Irwin (1961), [4] — Walraven et al. (1964), [5] — Stobie (1970), [6] — Pel (1976), [7] — Grayzeck (1978), [8] — Harris (1980), [9] — Coulson and Caldwell (1985), [10] — Hipparcos, [11] — Berdnikov and Turner (1995), [12] — Bersier (2002), [13] — Berdnikov and Turner (1998), [14] — Berdnikov and Turner (2001a), [15] — Berdnikov and Caldwell (2001), [16] — Berdnikov and Turner (2001b), [17] — ASAS-3, [18] — Berdnikov and Turner (2004c), [19] — Berdnikov and Turner (2004a), [20] — Berdnikov and Turner (2004b), [21] — INTEGRAL-ОМС, [22] — Berdnikov et al. (2015), [23] — ASAS-SN.

Найденное нами значение

$$dP/dt = +2.91 (\pm 1.68) \text{ с год}^{-1}$$

соответствует теоретическим расчетам для третьего пересечения полосы неустойчивости (Fadeyev, 2014; Turner et al., 2006) для классических цефеид.

Данные таблицы 3 позволяют оценить величину случайных флуктуаций пульсационного периода. Для этого вычислялись задержки $u(x) = |z(r+x) - z(r)|$ для максимумов, раз-

деленных x -циклами. Средняя величина $\langle u(x) \rangle$, согласно Eddington and Plakidis (1929), должна быть связана 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.

Результаты вычислений представлены на рис. 3 и указывают на существование линейного тренда

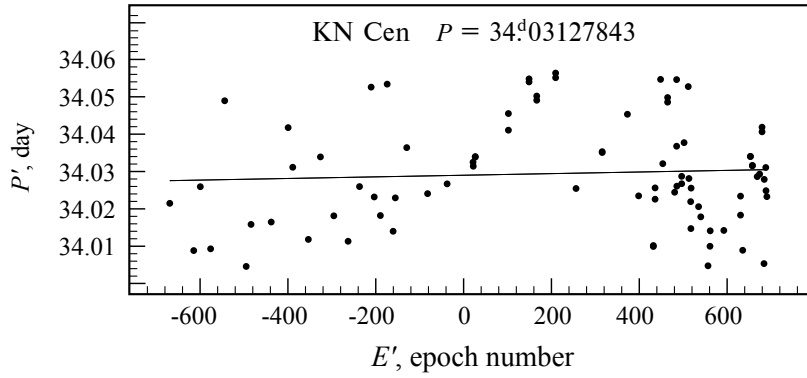


Рис. 2. Зависимость $P'_i = ((O - C)_{i+1} - (O - C)_i) / (E_{i+1} - E_i)$ от $E'_i = (E_i + E_{i+1}) / 2$. Линия соответствует поведению остатков $O - C$ на рис. 1.

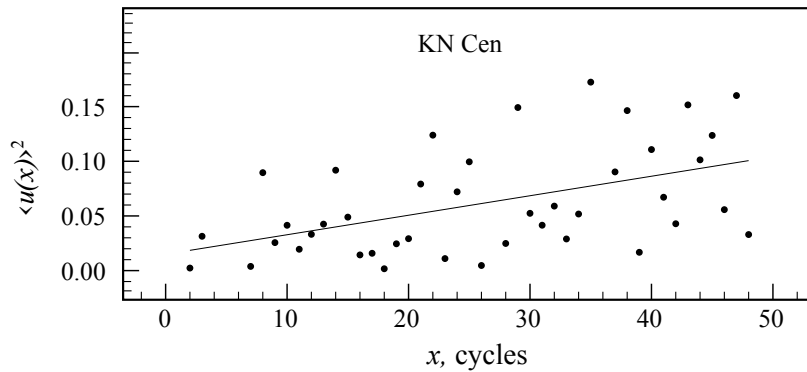


Рис. 3. Зависимость квадрата средней накопленной задержки $\langle u(x) \rangle^2$ от разности циклов x для KN Cep. Линия — подгонка уравнения (2) для $x < 50$, которая дает величину случайных флуктуаций периода $\varepsilon = 0^d042 \pm 0^d022$ ($\varepsilon/P \approx 0.001$).

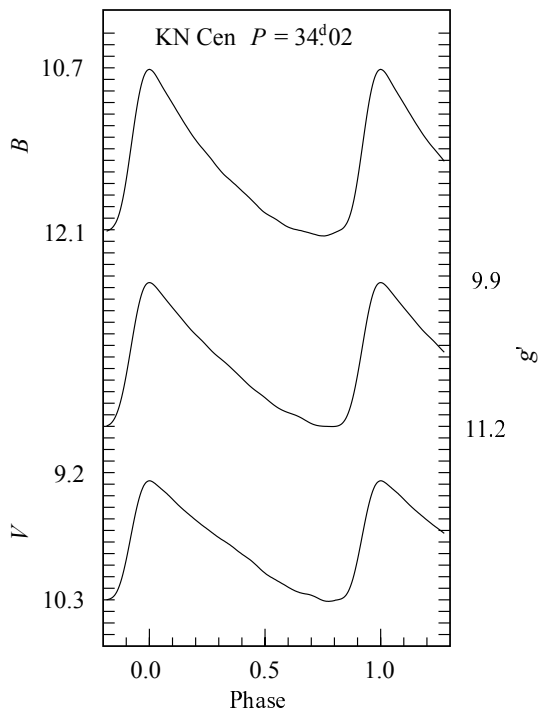


Рис. 4. Стандартные кривые цефеиды KN Cep в фильтрах B , g' и V .

$\langle u(x) \rangle^2$ для разности циклов $x < 50$, где формальная подгонка уравнения (2) дает величину случайной флуктуации периода $\varepsilon = 0^d042 \pm 0^d022$. Таким образом, полученные нами данные свидетельствуют в пользу существования небольших случайных флуктуаций периода ($\varepsilon/P \approx 0.001$).

Отметим, что полученные здесь результаты основаны на конкретных стандартных кривых. Поэтому мы приводим их в таблице 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. Таблица 4 содержит звездные величины KN Cep для фаз от 0 до 0.995 с шагом 0.005 в фильтрах B , g' и V ; эти стандартные кривые графически изображены на рис. 4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для изучения изменяемости периода KN Cep использовалось 697 оценок блеска на старых фотопластинках университета Гарварда (США); кроме того, было собрано 9076 опубликованных наблюдений. Все имеющиеся данные были обработаны методом Герцшпрунга (Hertzsprung,

1919), и было определено 95 моментов максимального блеска для построения ($O - C$)-диаграммы, охватывающей временной интервал 134 года. Это позволило определить квадратичные элементы изменения блеска (1) и вычислить скорость эволюционного увеличения периода

$dP/dt = +2.91 (\pm 1.68)$ с год $^{-1}$, что согласуется с результатами модельных расчетов для третьего пересечения полосы неустойчивости (Fadeyev, 2014; Turner et al., 2006). Тест на стабильность пульсаций, предложенный Lombard and Koen (1993), подтвердил реальность увеличения периода.

Таблица 4. Стандартные кривые KN Cep в фильтрах B , g' и V

Phase	B	g'	V	Phase	B	g'	V	Phase	B	g'	V
0.000	10.713	9.957	9.271	0.200	11.323	10.406	9.610	0.400	11.764	10.785	9.905
0.005	10.716	9.958	9.272	0.205	11.337	10.416	9.618	0.405	11.773	10.795	9.912
0.010	10.722	9.963	9.276	0.210	11.350	10.426	9.626	0.410	11.782	10.804	9.918
0.015	10.731	9.970	9.281	0.215	11.363	10.435	9.634	0.415	11.791	10.814	9.925
0.020	10.743	9.979	9.288	0.220	11.375	10.445	9.642	0.420	11.800	10.824	9.932
0.025	10.757	9.989	9.295	0.225	11.387	10.455	9.650	0.425	11.810	10.833	9.939
0.030	10.773	10.000	9.304	0.230	11.398	10.465	9.657	0.430	11.819	10.843	9.946
0.035	10.790	10.012	9.312	0.235	11.410	10.475	9.665	0.435	11.829	10.852	9.953
0.040	10.807	10.024	9.321	0.240	11.422	10.486	9.672	0.440	11.839	10.861	9.961
0.045	10.825	10.037	9.329	0.245	11.434	10.496	9.679	0.445	11.849	10.869	9.969
0.050	10.842	10.050	9.338	0.250	11.446	10.507	9.688	0.450	11.859	10.877	9.978
0.055	10.860	10.062	9.346	0.255	11.458	10.518	9.695	0.455	11.869	10.885	9.987
0.060	10.877	10.075	9.356	0.260	11.470	10.529	9.703	0.460	11.879	10.892	9.997
0.065	10.894	10.087	9.364	0.265	11.482	10.539	9.710	0.465	11.889	10.900	10.006
0.070	10.910	10.100	9.373	0.270	11.495	10.549	9.718	0.470	11.900	10.907	10.016
0.075	10.927	10.112	9.381	0.275	11.508	10.559	9.725	0.475	11.911	10.914	10.025
0.080	10.943	10.125	9.391	0.280	11.522	10.568	9.733	0.480	11.920	10.922	10.035
0.085	10.959	10.137	9.400	0.285	11.535	10.578	9.740	0.485	11.930	10.929	10.044
0.090	10.976	10.149	9.410	0.290	11.548	10.586	9.748	0.490	11.939	10.937	10.053
0.095	10.992	10.162	9.420	0.295	11.560	10.595	9.755	0.495	11.947	10.945	10.061
0.100	11.009	10.174	9.430	0.300	11.572	10.603	9.761	0.500	11.954	10.953	10.069
0.105	11.025	10.186	9.440	0.305	11.584	10.611	9.768	0.505	11.961	10.961	10.077
0.110	11.042	10.198	9.450	0.310	11.596	10.619	9.775	0.510	11.967	10.969	10.084
0.115	11.059	10.210	9.460	0.315	11.607	10.627	9.781	0.515	11.973	10.978	10.090
0.120	11.076	10.222	9.471	0.320	11.618	10.635	9.788	0.520	11.979	10.986	10.097
0.125	11.092	10.234	9.481	0.325	11.628	10.643	9.794	0.525	11.984	10.995	10.104
0.130	11.108	10.246	9.490	0.330	11.637	10.652	9.801	0.530	11.990	11.003	10.109
0.135	11.125	10.258	9.499	0.335	11.646	10.661	9.807	0.535	11.995	11.011	10.115
0.140	11.141	10.270	9.508	0.340	11.654	10.670	9.814	0.540	12.001	11.018	10.121
0.145	11.158	10.282	9.517	0.345	11.663	10.679	9.820	0.545	12.007	11.025	10.126
0.150	11.174	10.295	9.526	0.350	11.671	10.689	9.827	0.550	12.013	11.032	10.132
0.155	11.190	10.307	9.534	0.355	11.681	10.698	9.835	0.555	12.020	11.038	10.138
0.160	11.205	10.319	9.543	0.360	11.690	10.708	9.842	0.560	12.027	11.044	10.143
0.165	11.221	10.331	9.551	0.365	11.699	10.717	9.850	0.565	12.034	11.050	10.149
0.170	11.236	10.343	9.559	0.370	11.707	10.727	9.858	0.570	12.041	11.055	10.155
0.175	11.252	10.354	9.568	0.375	11.716	10.736	9.866	0.575	12.048	11.060	10.161
0.180	11.267	10.365	9.577	0.380	11.726	10.746	9.874	0.580	12.054	11.065	10.166
0.185	11.282	10.376	9.585	0.385	11.735	10.755	9.882	0.585	12.061	11.069	10.172
0.190	11.296	10.387	9.594	0.390	11.745	10.765	9.889	0.590	12.067	11.073	10.178
0.195	11.310	10.397	9.602	0.395	11.754	10.775	9.897	0.595	12.072	11.077	10.184

Таблица 4. (Продолжение)

Phase	<i>B</i>	<i>g'</i>	<i>V</i>	Phase	<i>B</i>	<i>g'</i>	<i>V</i>	Phase	<i>B</i>	<i>g'</i>	<i>V</i>
0.600	12.077	11.081	10.190	0.735	12.151	11.196	10.292	0.870	11.959	11.025	10.180
0.605	12.081	11.085	10.196	0.740	12.152	11.197	10.297	0.875	11.923	10.989	10.151
0.610	12.085	11.088	10.201	0.745	12.153	11.198	10.301	0.880	11.881	10.949	10.119
0.615	12.088	11.092	10.208	0.750	12.153	11.199	10.305	0.885	11.835	10.906	10.081
0.620	12.092	11.095	10.212	0.755	12.154	11.199	10.308	0.890	11.783	10.859	10.041
0.625	12.095	11.099	10.218	0.760	12.153	11.200	10.311	0.895	11.727	10.809	9.998
0.630	12.097	11.102	10.223	0.765	12.151	11.200	10.312	0.900	11.666	10.755	9.952
0.635	12.099	11.106	10.227	0.770	12.149	11.201	10.312	0.905	11.602	10.700	9.904
0.640	12.101	11.110	10.231	0.775	12.146	11.201	10.314	0.910	11.534	10.642	9.853
0.645	12.104	11.115	10.234	0.780	12.142	11.201	10.312	0.915	11.464	10.583	9.803
0.650	12.106	11.120	10.238	0.785	12.139	11.201	10.311	0.920	11.394	10.523	9.750
0.655	12.107	11.125	10.240	0.790	12.135	11.201	10.311	0.925	11.323	10.463	9.700
0.660	12.110	11.131	10.243	0.795	12.131	11.201	10.308	0.930	11.252	10.404	9.648
0.665	12.113	11.136	10.245	0.800	12.126	11.201	10.306	0.935	11.183	10.346	9.599
0.670	12.116	11.142	10.247	0.805	12.122	11.200	10.302	0.940	11.116	10.290	9.551
0.675	12.118	11.148	10.249	0.810	12.117	11.199	10.301	0.945	11.053	10.237	9.507
0.680	12.121	11.154	10.250	0.815	12.113	11.196	10.299	0.950	10.993	10.188	9.465
0.685	12.123	11.160	10.252	0.820	12.108	11.193	10.297	0.955	10.939	10.142	9.427
0.690	12.126	11.166	10.254	0.825	12.103	11.188	10.294	0.960	10.890	10.101	9.393
0.695	12.129	11.171	10.257	0.830	12.098	11.181	10.291	0.965	10.847	10.066	9.363
0.700	12.132	11.176	10.260	0.835	12.091	11.172	10.286	0.970	10.810	10.035	9.337
0.705	12.135	11.180	10.264	0.840	12.082	11.161	10.280	0.975	10.779	10.010	9.315
0.710	12.138	11.184	10.268	0.845	12.070	11.146	10.271	0.980	10.755	9.990	9.299
0.715	12.140	11.187	10.272	0.850	12.055	11.129	10.260	0.985	10.736	9.975	9.286
0.720	12.143	11.190	10.277	0.855	12.038	11.109	10.245	0.990	10.723	9.964	9.278
0.725	12.146	11.192	10.282	0.860	12.016	11.085	10.228	0.995	10.716	9.959	9.273

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа финансировалась за счет средств бюджета института.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. J. Alfonso-Garzón, A. Domingo, J. M. Mas-Hesse, and A. Giménez, *Astron. and Astrophys.* **548**, id. A79 (2012). DOI:10.1051/0004-6361/201220095
2. L. N. Berdnikov, *Soviet Astronomy Letters* **18**, 207 (1992).
3. L. N. Berdnikov, *Astronomy Letters* **20** (2), 232 (1994).
4. L. N. Berdnikov, *Astronomy Letters* **36** (8), 569 (2010). DOI:10.1134/S1063773710080050
5. L. N. Berdnikov, *Astronomy Letters* **45** (7), 435 (2019a). DOI:10.1134/S1063773719070016
6. L. N. Berdnikov, *Astronomy Letters* **45** (9), 593 (2019b). DOI:10.1134/S1063773719090019
7. L. N. Berdnikov, *Astronomy Letters* **46** (6), 388 (2020). DOI:10.1134/S1063773720060018
8. L. N. Berdnikov, *Astronomy Letters* **47** (6), 420 (2021). DOI:10.1134/S1063773721060025
9. L. N. Berdnikov, A. A. Belinskii, E. N. Pastukhova, et al., *Astronomy Letters* **46** (3), 156 (2020). DOI:10.1134/S1063773720030019
10. L. N. Berdnikov and J. A. R. Caldwell, *Journal of Astronomical Data* **7** (3), 3 (2001).
11. L. N. Berdnikov, A. A. Henden, D. G. Turner, and E. N. Pastukhova, *Astronomy Letters* **35** (6), 406 (2009a). DOI:10.1134/S1063773709060061
12. L. N. Berdnikov, A. Y. Kniazev, R. Sefako, et al., *Astronomy Letters* **41** (1-2), 23 (2015). DOI:10.1134/S1063773715020012
13. L. N. Berdnikov and E. N. Pastukhova, *Astronomy Reports* **56** (11), 843 (2012). DOI:10.1134/S1063772912110017
14. L. N. Berdnikov and E. N. Pastukhova, *Astronomy Letters* **46** (4), 235 (2020). DOI:10.1134/S1063773720040027

15. L. N. Berdnikov, E. N. Pastukhova, and A. K. Dambis, *Astrophys. and Space Sci.* **364** (6), article id. 104 (2019). DOI:10.1007/s10509-019-3594-0
16. L. N. Berdnikov, E. N. Pastukhova, N. A. Gorynya, et al., *Publ. Astron. Soc. Pacific* **119** (851), 82 (2007). DOI:10.1086/510690
17. L. N. Berdnikov, E. N. Pastukhova, D. G. Turner, and D. J. Majaess, *Astronomy Letters* **35** (3), 175 (2009b). DOI:10.1134/S1063773709030049
18. L. N. Berdnikov, N. N. Samus, S. V. Antipin, et al., *Publ. Astron. Soc. Pacific* **116** (820), 536 (2004). DOI:10.1086/420984
19. L. N. Berdnikov and D. G. Turner, *Astronomy Letters* **21** (6), 717 (1995).
20. L. N. Berdnikov and D. G. Turner, *Astronomical and Astrophysical Transactions* **16** (4), 291 (1998). DOI:10.1080/10556799808208160
21. L. N. Berdnikov and D. G. Turner, *Astronomical and Astrophysical Transactions* **19** (5), 689 (2001a). DOI:10.1080/10556790108244090
22. L. N. Berdnikov and D. G. Turner, *Astrophys. J. Suppl.* **137** (1), 209 (2001b). DOI:10.1086/323629
23. L. N. Berdnikov and D. G. Turner, *Astronomical and Astrophysical Transactions* **23** (4), 395 (2004a). DOI:10.1080/10556790410001733828
24. L. N. Berdnikov and D. G. Turner, *Astronomical and Astrophysical Transactions* **23** (6), 599 (2004b). DOI:10.1080/10556790412331335318
25. L. N. Berdnikov and D. G. Turner, *Astronomical and Astrophysical Transactions* **23** (3), 253 (2004c). DOI:10.1080/10556790410001701300
26. L. N. Berdnikov and D. G. Turner, *Astronomy Reports* **54** (5), 392 (2010). DOI:10.1134/S1063772910050033
27. L. N. Berdnikov and D. G. Turner, *Astronomical and Astrophysical Transactions* **18**, 679 (2000). DOI:10.1080/10556790008213576
28. D. Bersier, *Astrophys. J. Suppl.* **140** (2), 465 (2002). DOI:10.1086/342487
29. I. M. Coulson and J. A. R. Caldwell, *South African Astronomical Observatory Circular* **9**, 5 (1985).
30. G. Csörnyei, L. Szabados, L. Molnár, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **511** (2), 2125 (2022). DOI:10.1093/mnras/stac11
31. A. S. Eddington and S. Plakidis, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **90**, 65 (1929). DOI:10.1093/mnras/90.1.65
32. ESA, *VizieR Online Data Catalog I/239* (1997).
33. Y. A. Fadeyev, *Astronomy Letters* **40** (5), 301 (2014). DOI:10.1134/S1063773714050028
34. J. D. Fernie, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **102**, 905 (1990). DOI:10.1086/132715
35. E. J. Grayzeck, *Astron. J.* **83**, 1397 (1978). DOI:10.1086/112330
36. H. C. Harris, Ph.D. Thesis, University of Washington, Seattle (1980).
37. E. Hertzsprung, *Astronomische Nachrichten* **210** (2), 17 (1919).
38. J. B. Irwin, *Astrophys. J. Suppl.* **6**, 253 (1961). DOI:10.1086/190066
39. T. Jayasinghe, K. Z. Stanek, C. S. Kochanek, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **485** (1), 961 (2019). DOI:10.1093/mnras/stz444
40. F. Lombard and C. Koen, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **263**, 309 (1993). DOI:10.1093/mnras/263.2.309
41. F. Mahmoud and L. Szabados, *Information Bulletin on Variable Stars* **1895**, 1 (1980).
42. J. W. Pel, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **24**, 413 (1976).
43. G. Pojmanski, *Acta Astronomica* **52**, 397 (2002). DOI:10.48550/arXiv.astro-ph/0210283
44. R. S. Stobie, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **148**, 1 (1970). DOI:10.1093/mnras/148.1.1
45. H. H. Swope, *Harvard College Observatory Bulletin* **883**, 23 (1931).
46. L. Szabados, *Communications of the Konkoly Observatory Hungary* **94**, 1 (1989).
47. D. G. Turner, M. Abdel-Sabour Abdel-Latif, and L. N. Berdnikov, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **118** (841), 410 (2006). DOI:10.1086/499501
48. D. G. Turner and L. N. Berdnikov, *Astron. and Astrophys.* **423**, 335 (2004). DOI:10.1051/0004-6361:20040163
49. J. H. Walraven, J. Tinbergen, and T. Walraven, *Bull. Astron. Inst. Netherlands* **17**, 520 (1964).
50. T. Walraven, A. B. Muller, and P. T. Oosterhoff, *Bull. Astron. Inst. Netherlands* **14**, 81 (1958).

A Search for Evolutionary Changes in the Period of Classical Cepheid KN Cen

L. N. Berdnikov¹ and A. K. Dambis¹

¹Sternberg Astronomical Institute, Moscow State University, Moscow, 119234 Russia

All available photometry for the Cepheid KN Cen is analyzed to construct its ($O - C$) diagram spanning a 134-year long time interval. This made it possible for the first time to compute the rate of evolutionary period increase of the Cepheid, $dP/dt = +2.91 (\pm 1.68) \text{ s yr}^{-1}$, which is consistent with the results of model computations for the third crossing of the instability strip. The test for stability of pulsations proposed by Lombard and Koen confirmed the reality of the evolutionary period change.

Keywords: *Cepheids, variability of pulsation period, stellar evolution*