

О периодах короткопериодических цефеид в направлении галактического центра

Е.Д.Павловская

В результате настоящей работы было показано, что для значительной части короткопериодических цефеид в направлении галактического центра ($\alpha = 18^{\text{h}}00^{\text{m}}$, $\delta = -30^{\circ}2$) С.И. Гапошкиным найдены не истинные, а сопряженные периоды.

Были проверены и уточнены периоды 76 короткопериодических цефеид, при этом использовались только наблюдения С.И. Гапошкина.

При сравнении распределений периодов короткопериодических цефеид в изученной области с распределениями тех же величин во всей Галактике и в пяти шаровых скоплениях было отмечено сходство распределений периодов в изученной области и в шаровом скоплении NGC 5904.

Сравнение диаграмм период — амплитуда и средних значений периодов короткопериодических цефеид типа "а" также приводит к выводу о сходстве характеристик короткопериодических цефеид в направлении галактического центра и в шаровом скоплении NGC 5904.

The periods of short — period Cepheids in the direction to the galactic center

E.D. Pavlovskaya

It is shown that for a considerable fraction of short—period Cepheids in the direction to the galactic center ($\alpha = 18^{\text{h}}00^{\text{m}}$, $\delta = -30^{\circ}2$), the periods determined by S.I. Gaposhkin are not true but conjugate periods.

A check—up and more precise determination was made of the periods of 76 short—period Cepheids, using only the observational data obtained by S. Gaposhkin. The distribution of periods of short—period Cepheids in the investigated region was compared with that in all of the Galaxy and in five globular clusters. A similarity in distribution of periods in the investigated region and in the globular cluster NGC 5904 is noted.

A comparison of the period—amplitude diagram and the mean periods of type "a" short—period Cepheids also leads to the conclusion that there is a similarity of characteristics of short—period Cepheids in the direction to the galactic center and in the globular cluster NGC 5904.

В работе [1] нами было показано, что для нескольких звезд, расположенных в области с центром $\alpha = 18^{\text{h}}00^{\text{m}}$, $\delta = -30^{\circ}2$ (1950.0) и исследованных С.И. Гапошкиным [2], найдены не истинные периоды, а сопряженные, т.е. периоды, связанные с истинными соотношением

$$\frac{1}{P'} = \frac{1}{P} \pm n$$

где P — истинный период, P' — сопряженный, а n — целое число, равное 1 или 2. Совершенно очевидно, что значение $n = 2$ должно встречаться реже, чем значение $n = 1$, однако для нескольких рассмотренных нами звезд $n = 2$ (см., например, звезды №№ 42, 144, 226).

В той же статье мы обратили внимание читателей на особенности использованного С.И. Гапошкиным наблюдательного материала, при наличии которых вполне возможны сопряженные периоды. Действительно, 77% всех оценок приходится примерно на одну и ту же долю дня, т.е. почти все пластинки получены в пределах 0.1 — 0.2. Кроме того, основной наблюдательный материал состоит из отдельных пластинок; очень редко встречаются серии из трех и более пластинок, снятых в одну ночь.

Полученный в работе [2] вывод о различии распределений периодов короткопериодических цефеид в исследованной области неба и во всей Галактике представляет большой интерес с точки зрения современной космогонии. Однако в результате предпринятой нами проверки оказалось, что найденные С.И. Гапошкиным периоды нескольких звезд, по-видимому, являются сопряженными, а истинные значения этих периодов близки к 0.5, как и для большинства короткопериодических цефеид в изученной части Галактики. Поэтому в дальнейшем нами были проверены и уточнены периоды 76 из 111 короткопериодических цефеид, исследованных С.И. Гапошкиным [2]; среди оставшихся 35 звезд для 9 в указанной работе не приводятся значения P и $1/P$, для 14 — наблюдения с данной Гапошкиным величиной $1/P$ не сводятся в одну кривую, а для 12 звезд нами были приняты без всякой проверки периоды, найденные ранее [2]. Из 76 рассмотренных звезд для 53 приняты сопряженные периоды, для 17 после тщательной проверки подтверждены периоды, найденные в работе [2], для 5 звезд периоды несколько уточнены и для одной звезды период определен вновь.

При проверке периода какой-нибудь звезды мы брали величину $1/P$ из работы [2], изменяли ее на единицу и затем все наблюдения наилучшим образом сводили в одну кривую блеска с величиной $1/P - 1$, которая иногда при этом значительно изменялась. Следует обратить внимание на то, что в работе [2] величины $1/P$ нередко даны с точностью до восьмого и даже девятого десятичного знака; такую точность невозможно обеспечить при наблюдениях, охватывающих период времени всего лишь около трех лет.

При уточнении периодов и построении кривых блеска были использованы только наблюдения С.И. Гапошкина [3], поэтому и кривые даются в звездных величинах.

Необходимо отметить, что поскольку мы пользовались только опубликованным материалом, в котором возможны опечатки, то, по-видимому, некоторые оценки блеска не соответствуют действительности; так, например, для звезды № 10 оценка блеска в степенях в момент J.D. 2432416.695 должна быть не 0, а 10. Только при этом предположении мы получаем плавное изменение блеска с течением времени. Совершенно очевидно, что если приводится только одна оценка блеска за ночь, то проверить правильность последней невозможно. Поэтому при решении вопроса о правильности того или иного значения периода

отдельные противоречащие всем остальным точки не всегда принимались во внимание. Так, например, одна минимальная оценка блеска звезды № 27, попадающая на фазу максимума (J.D. 2431675.702), при хорошем расположении всех остальных точек не считалась противоречащей данному значению периода. В подавляющем большинстве случаев мы обращали внимание не на расположение отдельных точек, а на общий разброс точек главным образом на восходящей и нисходящей ветвях кривой. Ясно, что расположение этих точек сильнее всего изменяется при переходе от истинного периода к сопряженному.

В таблице 1 для всех 76 рассмотренных звезд приводятся величины $1/P$ и P по определению С.И.Гапошкина и автора данной работы, средняя оценка блеска в максимуме и минимуме, средняя амплитуда изменения блеска в степенях и начальная эпоха M_0 . Звезды с наиболее надежно определенными периодами отмечены звездочкой около порядкового номера. Будем называть в дальнейшем эти звезды опорными. Для иллюстрации в конце статьи приводятся кривые блеска некоторых звезд таблицы 1, причем справа даны кривые с периодом, определенным С.И.Гапошкиным, а слева — с найденным нами. Легко видеть, что для ряда звезд (№№ 2, 12, 14, 22, 50, 53, 59, 70, 79, 82, 105, 118, 124, 136, 143, 193, 226, 237) полученные нами периоды лучше удовлетворяют наблюдениям, чем периоды, найденные в работе [2]. Для звезд №№ 1, 16, 28, 44, 155, 232, 260 оба периода совершенно одинаково удовлетворяют наблюдениям, поэтому в настоящее время по имеющемуся в нашем распоряжении материалу невозможно решить, какой из двух периодов истинный. Все кривые даны в одном масштабе и расположены в порядке увеличения найденных нами периодов.

Рассмотрение этих кривых показывает, что чем больше амплитуда и чем более асимметричная кривая у данной звезды, тем сильнее истинный период отличается от сопряженного, и, следовательно, тем надежнее может быть решен вопрос о периоде той или иной звезды. Наблюдениям звезд с небольшими амплитудами и симметричными кривыми одинаково хорошо удовлетворяют оба периода, поэтому мы в процессе работы отказались от рассмотрения таких звезд.

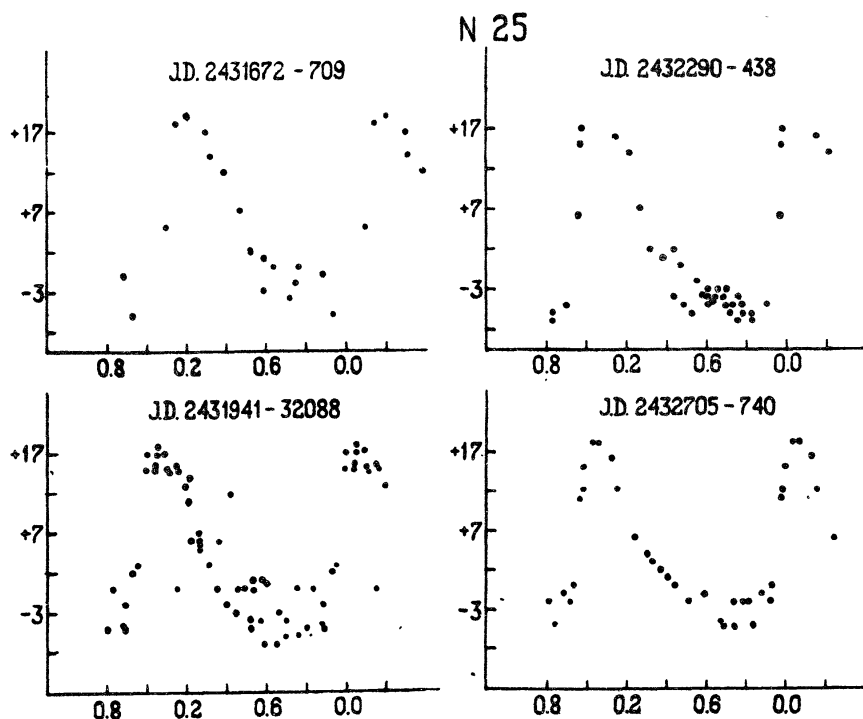


Рис. 1

При уточнении периода звезды №25 оказалось, что невозможно свести в одну кривую все наблюдения этой звезды с одними и теми же элементами. На рис.1 приводятся кривые блеска этой звезды для различных интервалов, вычисленные с одним и тем же периодом. По-видимому, у этой звезды в период J.D. 2431709–2431941 изменилась эпоха максимума. Для интервала времени J.D. 2431672–2431709 элементы:

$$\text{Max} = \text{J.D. } 2431702.660 + 0.45757,$$

а для интервала времени J.D. 2431941–2432740 элементы:

$$\text{Max} = \text{J.D. } 2432706.945 + 0.45757.$$

Период, вероятно, не изменился.

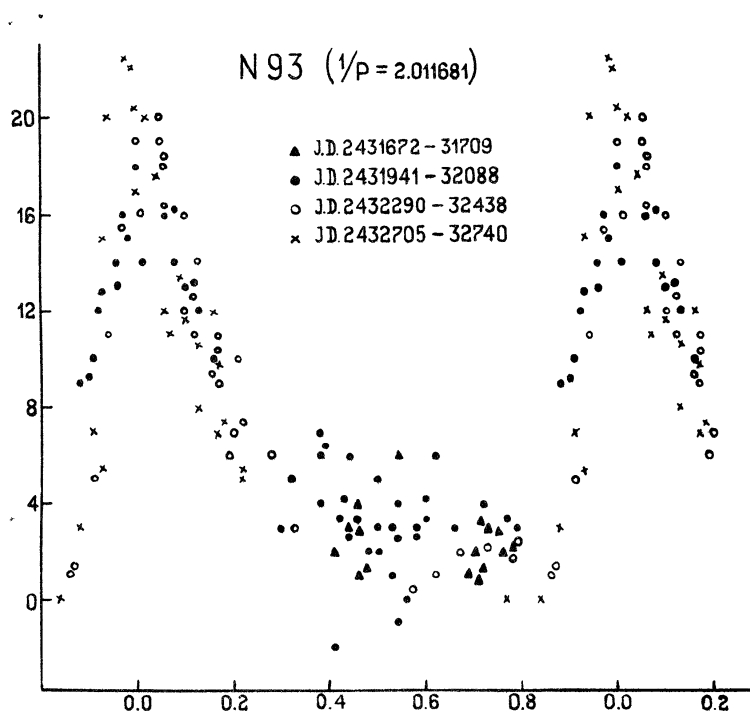


Рис. 2

Звездная величина переменной №93 в максимуме блеска не остается постоянной. На рис.2 приводится кривая блеска этой звезды с периодом, найденным в настоящей работе, причем наблюдения в различные интервалы времени обозначены разными значками.

Рассмотрение данных таблицы 1 показывает, что, во-первых, большинство короткопериодических цефеид в области $\alpha = 18^h00^m$, $\delta = -30^\circ.2$ (1950.0) имеет периоды около 0.5, и, во-вторых, звезды с большими амплитудами имеют очень несимметричные кривые. Оба отмеченных обстоятельства не противоречат тому, что наблюдается у короткопериодических цефеид во всей изученной части Галактики.

После исправления и уточнения периодов короткопериодических цефеид в направлении галактического центра интересно было сравнить характеристики этих переменных с аналогичными характеристиками короткопериодических цефеид во всей Галактике. Для этого было

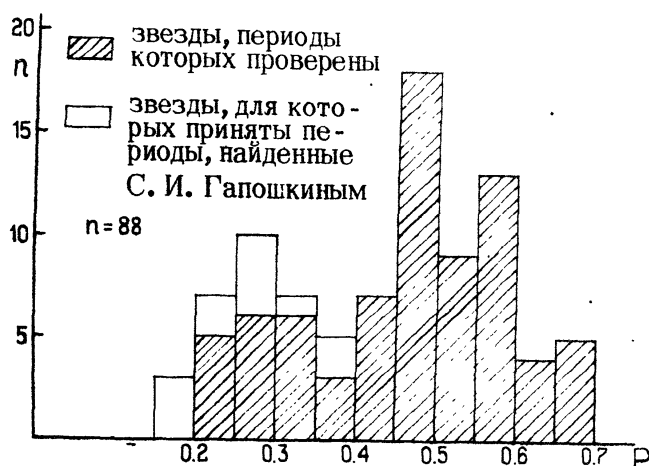


Рис. 3. Распределение периодов короткопериодических цефеид в направлении галактического центра (периоды исправленные)

построено распределение периодов рассмотренных звезд по данным таблицы 1, приведенное на рис. 3. Затем это распределение сравнивалось с распределением периодов короткопериодических цефеид во всей Галактике (см.рис.4). Последнее было построено по данным II издания Общего Каталога Переменных звезд, причем звезды в направлении галактического центра с периодами, определенными в работе [2], не принимались нами во внимание.

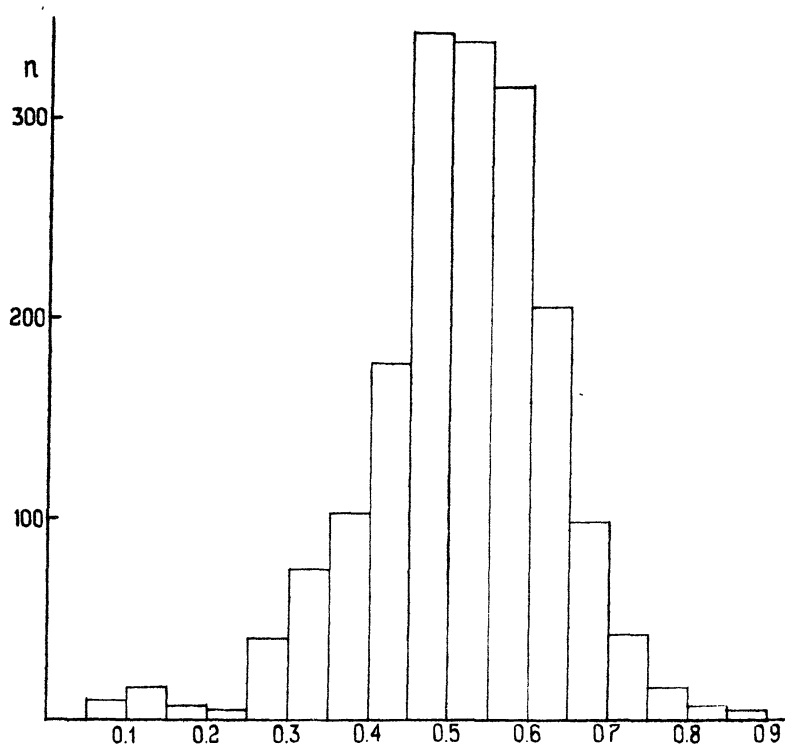


Рис. 4. Распределение периодов короткопериодических цефеид по данным ОКПЗ, 1958

Сравнение двух распределений периодов проводилось с помощью λ — критерия [4], основанного на следующей теореме акад. А. Н. Колмогорова:

Вероятность $\Phi_n(\lambda)$ неравенства

$$D < \frac{\lambda}{\sqrt{n}}$$

стремится, для $n \rightarrow \infty$, равномерно относительно λ к пределу

$$\Phi(\lambda) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (-1)^k e^{-2k\lambda^2}$$

каков бы ни был непрерывный закон распределения $F(x)$.

Сравнение двух эмпирических распределений сводится к следующему. Пусть $F_{n_1}(x)$ и $F_{n_2}(x)$ — два интегральных эмпирических закона распределения; n_1 , n_2 — объемы соответствующих выборок, D — верхняя граница разности значений $F_{n_1}(x)$ и $F_{n_2}(x)$, а

$$n = \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2}}$$

В таком случае, если значение $P(\lambda) = 1 - \Phi(\lambda)$, где λ определяется из выражения $\lambda = \sqrt{n} \cdot D$, мало, то, согласно принципу практической невозможности маловероятных событий, расхождение между двумя эмпирическими распределениями $F_{n_1}(x)$ и $F_{n_2}(x)$ нельзя считать слу-

чайным. Практически это расхождение надо считать существенным, если вероятность $P(\lambda)$, определенная для данного значения λ , не более 0.05. Вероятность $P(\lambda)$ находится по специальной таблице, приведенной в упомянутой книге [4].

Описанный выше критерий был применен не только для сравнения распределения периодов короткопериодических цефеид в изучаемой области в направлении центра и во всей Галактике, но также для сравнения исследуемых звезд с короткопериодическими цефеидами в различных шаровых звездных скоплениях и сравнения последних между собой.

Нами были рассмотрены распределения периодов короткопериодических цефеид в пяти шаровых скоплениях: NGC 5272, ω Cen, NGC 5904, NGC 7078, NGC 3201, из которых скопления NGC 5272, NGC 5904, NGC 3201 относятся к I группе, а скопления ω Cen и NGC 7078 ко II [5]. Результаты приведены в таблице 2, столбцы которой не требуют дополнительных пояснений, кроме указания, что исследуемая в работе область обозначена просто "Область". Данные этой таблицы позволяют сделать вывод, что распределение периодов короткопериодических цефеид в изучаемой области более всего похоже на распределение периодов короткопериодических цефеид в скоплении NGC 5904, но отличается существенно от распределения периодов короткопериодических цефеид как во всей Галактике, так и в шаровых скоплениях II типа.

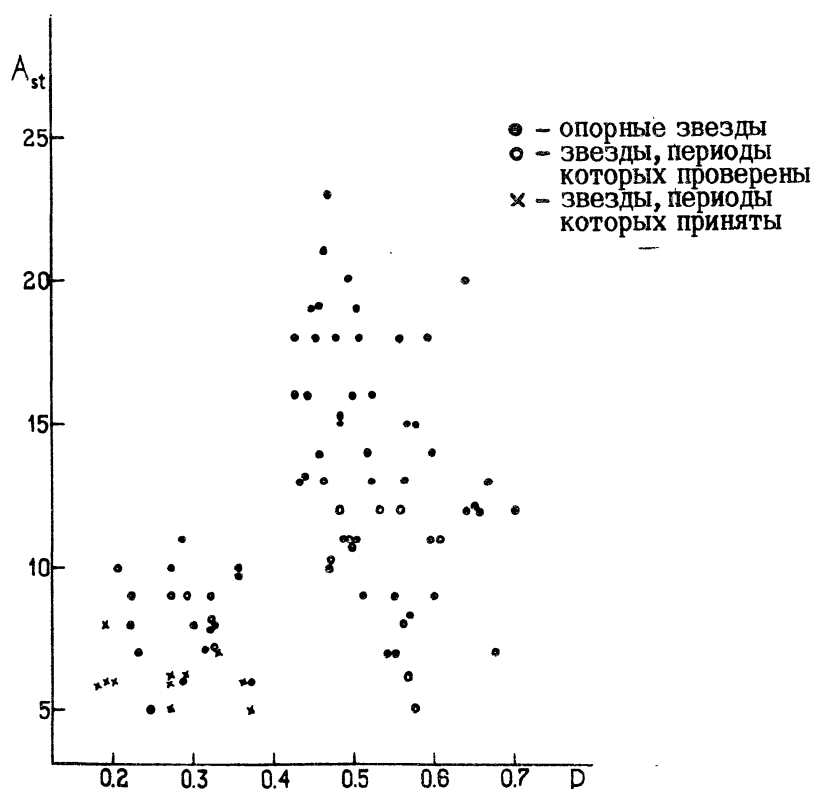


Рис. 5. Зависимость амплитуда — период короткопериодических цефеид в направлении галактического центра (периоды исправлены)

Для короткопериодических цефеид в изучаемой области была построена диаграмма период—амплитуда, причем амплитуда бралась в градусах, а по второй оси откладывались исправленные значения периодов (см. рис. 5). При сравнении этой диаграммы с аналогичными диаграммами для шаровых звездных скоплений удалось установить сходство построенной диаграммы с диаграммой для скопления NGC 5904.

Таблица 2

Обозначение сравниваемых областей	n_1	n_2	D	λ	$P(\lambda)$	Примечание
1 Галактика—Область	1810	88	0.224	2.05	0.0005	Существен. расхожд.
2 " —NGC 5904	"	89	131	1.21	.108	Случайное "
3 " — ω Cen	"	135	201	2.25	.0001	Существен. "
4 " —NGC 5272	"	151	107	1.26	.086	Случайное "
5 " —NGC 7078	"	60	245	1.87	.002	Существен. "
6 " —NGC 3201	"	56	302	2.23	.0001	Существен. "
7 Область — ω Cen	88	135	261	1.90	.002	Существен. "
8 " —NGC 5904	"	89	185	1.23	.099	Случайное "
9 " —NGC 5272	"	151	264	1.97	.0009	Существен. "
10 " —NGC 7078	"	60	267	1.59	.013	Существен. "
11 " —NGC 3201	"	56	523	3.05	.0000	Существен. "
12 ω Cen —NGC 7078	135	60	094	0.61	.857	Случайное "
13 NGC 5272 —NGC 5904	151	89	134	1.00	.270	Случайное "
14 " —NGC 3201	"	56	213	1.36	.051	Случайное "

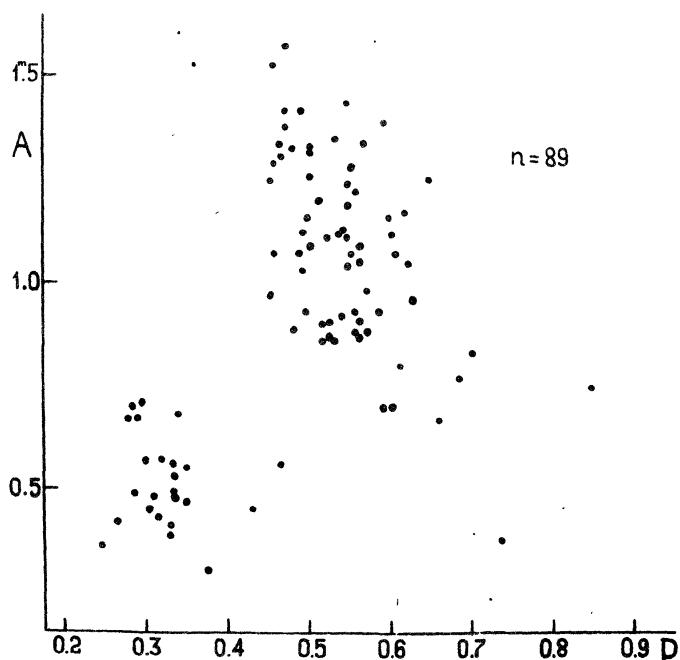


Рис. 6. Зависимость амплитуда — период короткопериодических цефеид в шаровом скоплении NGC 5904

Последняя приведена на рис. 6 по данным работы [6].

Интересно отметить, что средний период короткопериодических цефеид типа "а" в исследуемой области ($\bar{P} = 0.52821$) незначительно отличается от аналогичной величины для скопления NGC 5904 ($\bar{P} = 0.54650$). Сравнение этих двух выборочных средних между собой проводилось следующим образом [4]. Была вычислена величина

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_{\bar{x}}},$$

где $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$ — средние значения для двух выборок,

$$S_{\bar{x}} = S \cdot \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 \cdot n_2}},$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x_1 - \bar{x}_1)^2 + \sum(x_2 - \bar{x}_2)^2}{n_1 + n_2 - 2}},$$

n_1 и n_2 — объемы двух выборок.

Величина t подчиняется распределению Стюдента и может быть оценена с помощью таблиц [4] (таблица V). В данном конкретном случае $n_1 = 67$, $n_2 = 56$, $\sum(P_1 - \bar{P}_1)^2 = 0.35349$; $\sum(P_2 - \bar{P}_2)^2 = 0.26632$; $t = 1.41$, $k = 121$. Вычисленная по таблице вероятностная величина t , численно не меньшая наблюдаемого значения, составляет $P(t) = 0.159$. Следовательно расхождение между средними значениями периодов короткопериодических цефеид типа "а" в изученной области и в скоплении NGC 5904 можно считать случайным и рассматривать обе эти выборки, как выборки из одной и той же генеральной совокупности.

№№	№ Гапош-кина	С.И. Гапошкин i/P	Е.Д. Павловская i/P	m P	m St	m St	A	$M_{\odot}$	Примечание
1	1	2.5295771	1.326854	0.39532	10	-2	12	2432705.874	Период принят
2	2	2.5687080	1.565886	0.38930	10	-2	12	2432705.874	
3	3	4.3180969		0.23158					
4*	4	2.927259	1.927410	0.34162	15	2	13	2432416.730	
5*	5	2.1590176		0.46317	19	-4	23	2432737.857	Подтвержден период
6*	10	3.4952532	3.495142	0.28610	10	-1	11	2432740.861	
7*	12	3.0920283	2.089280	0.32341	17	2	15	2432438.659	
8	13	2.8910591	1.888378	0.34589	13	1	12	2432736.821	
9*	14	3.2527017	2.250013	0.30744	17	-2	19	2432739.791	Подтвержден период
10	15	3.1141640	2.111384	0.32111	15	-3	18	2432705.874	
11	16	4.72004627	3.717236	0.21186	8	-1	9	2432736.855	
12*	17	2.69531	1.692520	0.37101	15	-3	18	2432740.786	
13*	20	2.6839232	1.681272	0.37259	16	2	14	2432740.818	Период принят
14	21	3.712829		0.26934	7	1	6	2432737.725	
15*	22	3.3311691	2.328306	0.30019	12	-1	13	2432739.728	
16	24	4.8453887	4.811488	0.20638	14	4	10	2432739.822	
17	25	3.1884129	2.185461	0.31359	17	-4	21	2432001.817	Подтвержден период
18*	26	2.3006438		0.43466	12	-1	13	2432740.753	
19*	27	1.57475566		0.63502	20	0	20	2432736.821	
20	28	3.8215693	2.818820	0.26167	9	-1	10	2432706.916	
21*	29	2.229359		0.44856	13	-5	18	2432739.822	Подтвержден период
22	30	3.5068351	3.506755	0.28516	7	1	6	2431999.773	
23	31	2.81394	1.811143	0.35537	5	-2	7	2432706.916	
24*	32	2.66899	1.666049	0.37467	10	1	9	2432740.753	
25	33	3.6671732		0.27269	6	0	6	2432740.753	Период принят
26*	34	3.3604534	2.357703	0.29758	16	-2	18	2432001.762	
27*	37	4.48923524		0.22276	10	2	8	2432740.818	
28	42	3.6600145	1.656864	0.27322	10	-1	11	2432414.744	
29	44	4.4664290	3.463729	0.22389	12	3	9	2432740.818	Подтвержден период
30*	45	3.2743392	2.271539	0.30540	19	3	16	2432739.759	

№№	№ Гапош-кина	С.И. Гапошкин	Е.Д. Павловская	$m_{\max}$	$m_{\min}$	A	M _o	Примечание
		$1/P$	$1/P$	St	St	St		
31*	46	2.338293	0.42766	20	4	16	2432739.759	Подтвержден период
32*	47	4.378282	0.22840	9	2	7	2432740.786	Подтвержден период
33	49	2.735175	0.36561	14	-1	15	2432705.874	
34*	50	3.2043518	0.31208	18	-1	19	2432740.818	
35	51	3.181827	0.31428	14	1	13	2432417.702	
36	52	4.1093483	0.24335	9	4	5	2432417.702	Подтвержден период
37	53	2.768501	0.36121	4	-2	6	2432417.670	
38	55	3.67416005	0.27217	5	0	5	2432740.786	Период принят
39	56	2.9618940	0.33762	9	0	9	2432029.706	
40*	59	2.9215675	0.34228	17	1	16	2432063.674	
41	61	2.7555761	0.36290	14	8	6	2432740.818	Период принят
42*	70	3.2049432	0.31202	15	1	14	2432740.844	
43	74	2.73979246	0.36499	8	3	5	2432739.759	
44	78	2.788748	0.35858	15	7	8	2432740.818	
45*	79	2.9412429	0.33999	20	6	14	2432737.857	
46*	82	2.77221794	0.36072	15	-3	18	2432417.702	
47	85	2.686486	0.37223	4	-1	5	2431999.829	Период принят
48*	91	2.50220300	0.39965	16	3	13	2432740.844	
49*	93	3.01439097	0.33174	18	2	16	2432740.753	
50*	99	3.05806	0.32700	7	-1	8	2432739.845	Подтвержден период
51*	105	2.7854181	0.35901	15	2	13	2432737.857	
52*	106	3.04494664	0.32841	4	-16	20	2432740.716	
53*	113	1.74994724	0.57144	8	0	8	2432737.725	Подтвержден период
54*	114	3.1527380	0.31718	6	-1	7	2432739.728	Подтвержден период
55	118	2.7973133	0.35748	16	4	12	2432739.867	
56*	122	2.0199619	0.49506	28	-1	29	2432000.825	Подтвержден период
57*	124	3.00645862	0.33262	23	5	18	2432740.844	
58	125	2.05965	0.48552	15	7	8	2432740.716	
59	127	3.42584274	0.29190	4	-2	6	2432740.716	Период принят

№№ Гапош-кина	С.И. Гапошкин		Е.Д. Павловская		m ^{max}		m ^{min}		M _o		Примечание
	1/ρ	ρ	1/ρ	ρ	St		St		St		
60	2.84910025	0.35099	1.846360	0.54161	9		2		2432740.753		Подтвержден период
61	2.07510649	0.48190			17		2		2432414.689		
62	3.03193568	0.32982	2.029273	0.49279	12		1		2432737.725		
63	2.684924	0.37245	2.684866	0.37246	9		3		2432736.785		
64*	2.5374436	0.39410	1.534700	0.65159	8		-4		2432739.822		Период принят
65	3.8199888	0.26178	1.817123	0.55032	14		5		2432739.791		
66	2.68411340	0.37256	1.681399	0.59474	10		-1		2432387.770		
67	3.01202	0.33199			13		6		2432737.759		
68			3.118292	0.32069	14		6		2432736.821		Подтвержден период
69	4.5832926	0.21818			10		1		2432740.844		
70*	1.77359661	0.56383			20		5		2432740.716		
71	2.52615	0.39586	1.47715	0.67698	9		2		2432739.759		
72	3.1404704	0.31842	3.109455	0.32160	11		2		2432739.728		Подтвержден период
73*	3.02688	0.33037	1.990174	0.50247	9		-2		2432388.777		
74*	2.9747785	0.33616	1.971999	0.50710	19		1		2432739.791		
75*	2.140361	0.46721			10		0		2432737.857		
76	3.1615153	0.31630	2.158754	0.46323	8		-2		2432736.821		Период принят
77	3.1041266	0.32215	2.070155	0.48306	11		0		2432388.777		
78	4.99624332	0.20015			9		3		2432739.822		
79	3.0546849	0.32737	2.085895	0.47941	16		4		2432740.844		
80*	3.7044028	0.26995			12		2		2432739.822		Подтвержден период
81*	3.431367	0.29143	1.428647	0.69996	10		-2		2432740.844		
82	2.34495	0.42645	3.347664	0.29872	12		4		2432740.818		
83*	3.0175164	0.33140	2.014701	0.49635	6		-5		2432740.753		
84	3.7650753	0.26560	2.762295	0.36202	9		-1		2432417.702		Период принят
85	5.1977121	0.19239			7		1		2432740.753		
86	5.3087263	0.18837			4		-4		2432740.753		
87	2.06897	0.48332	3.068950	0.32584	4		-3		2432740.716		
88	5.546696	0.18029			8		2		2432739.759		Период принят

Литература

1. Е. Д. Павловская, АЖ XXXIV, вып. 6, стр. 956, 1957.
2. С. И. Гапошкин, ПЗ 10, № 6, 1956.
3. С. И. Гапошкин, ПЗ 11, № 4, 1958.
4. В. И. Романовский, Применения математической статистики
в опытном деле, М. — Л., 1947.
5. Sidney van den Bergh, AJ 62, № 9, 334, 1957.
6. P. Th. Oosterhoff, Leid. Ann. 17, № 4, 1941.

Гос. астрономический институт

им. П. К. Штернберга

Сентябрь 1959 г.

