

Анализ изменения периодов двух цефеид сферической составляющей М. Б. Богданов

Для кривых изменения периодов κ Pav и AP Her построены гistogramмы частот и найдены автокорреляционные функции и спектральные плотности, которые указывают на возможность присутствия в изменении периодов этих звезд периодических составляющих.

The Analysis of the Period Changes of Two Spherical Component Cepheids by M. B. Bogdanov

The histograms, the autocorrelative functions and the power spectral density functions were computed for the period changes of two cepheids: κ Per and AP Her. Analysis show that the period changes of these stars contain some periodic components.

В настоящей работе была предпринята попытка поиска возможной скрытой периодичности в изменениях периода двух цефеид сферической составляющей κ Pav и AP Her. С этой целью для каждой из звезд на основе многочисленных наблюдений различных авторов были построены диаграммы О—С. Путем их численного дифференцирования были получены кривые изменения периодов. Такая операция позволяет, с одной стороны, перейти к более удобной переменной ΔP , а с другой стороны может играть роль своеобразного цифрового фильтра в случае, когда имеет место некоторый временной тренд, связанный с вековыми изменениями периода.

В предположении, что кривые изменения периодов являются реализациями стационарных и эргодических случайных процессов, был проведен анализ их функций распределения и найдены автокорреляционные функции и спектральные плотности. Для этого был предварительно осуществлен переход от непрерывного представления кривых ΔP к дискретному. Интервал дискретности как для κ Pav, так и для AP Her был выбран равным $10 P_0$, где P_0 — период изменения блеска. Следует отметить, что метод функций распределения уже применялся при исследовании изменения периодов κ Pav и AP Her в работе Васильяновской

и Ерлексовой (1970). Однако, во-первых, функции распределения в этой работе строились для кривых О-С, а не для значений ΔP ; во-вторых, в работе Васильяновской и Ерлексовой (1970) функция распределения строилась сразу для группы звезд, в то время как в данном случае исследуется каждая звезда индивидуально.

Для анализа временных характеристик изменений периодов были найдены автокорреляционные функции и спектральные плотности. Предварительно осуществлялся переход к центрированным случайным величинам $x_i = \Delta P_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta P_i$, где N — количество отсчетов реализации.

Для значений x_i вычислялась автокорреляционная функция

$$f(\tau) = \frac{1}{N-\tau} \sum_{i=1}^{N-\tau} x_i x_{i+\tau}$$

$$i = 1, 2, \dots, N; \quad \tau = 0, 1, \dots, C;$$

и сглаженная спектральная плотность

$$S(p) = \frac{1}{C} \sum_{\tau=0}^C f(\tau) (1 + \cos \frac{\pi \tau}{C}) \cos \frac{2\pi}{P} \tau$$

Ниже приведены результаты анализа изменений периодов κ Pav и AP Her. Вычисления автокорреляционных функций и спектральных плотностей были приведены на ЭЦВМ М-220 Вычислительного центра Саратовского государственного университета.

1. κ Pavonis

Для построения диаграммы О-С использовались наблюдения различных авторов, охватывающие интервал времени более 70 лет, причем значительная часть моментов максимумов была получена Паренаго (1948, 1958) путем обработки наблюдений по методу Герцшпрунга.

Уклонения вычислялись от линейных элементов Паренаго (1948)

$$\text{Max} = 2419619.00 + 9^d.0900 E$$

Согласно Паренаго, у κ Pav имеется заметная разность между моментами максимума, определенными на фотографических и визуальных наблюдениях, равная $\text{Max}_{vis} - \text{Max}_{ph} = +0^d.35 \pm 0.05$, поэтому при построении диаграммы О-С все моменты максимумов были приведены к визуальным.

Диаграмма О-С приведена на рис. 1а, а полученная путем ее дифференцирования кривая изменения периода — на рис. 1б. Для значений ΔP_i , снятых с кривой изменения периода, была построена гистограмма частот, которая приведена на рис. 2а. Проверка согласия с нормальным распределением, проведенная по критерию χ^2 при уровне значимости

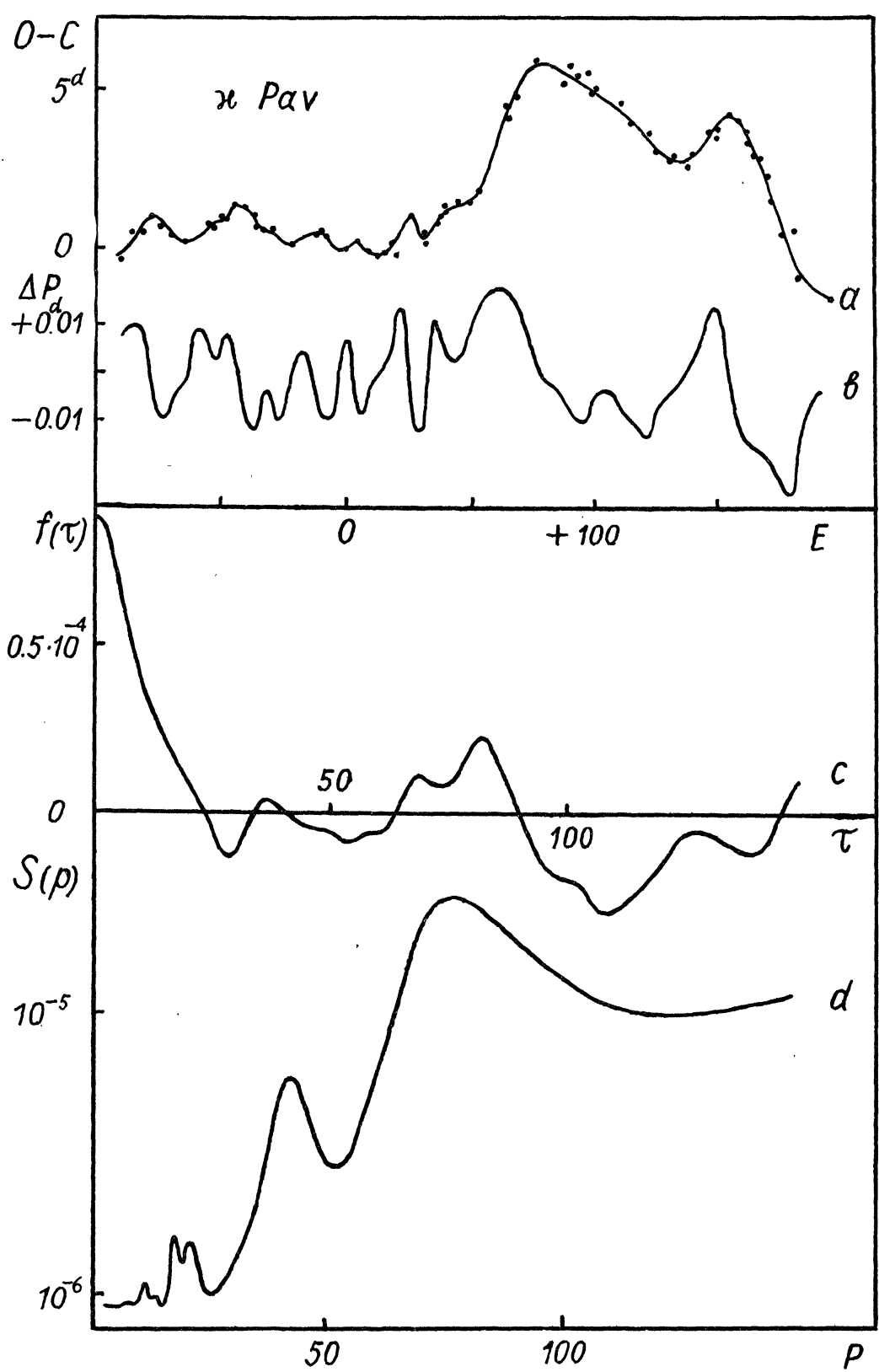


Рис. 1

$\alpha = 0.05$ показала, что данное распределение не является нормальным. Гистограмма частот обнаруживает характерный провал вблизи значения $\Delta P = 0$, что может говорить о присутствии в изменении периода κ Рав гармонической составляющей (Бендат, Пирсол, 1971).

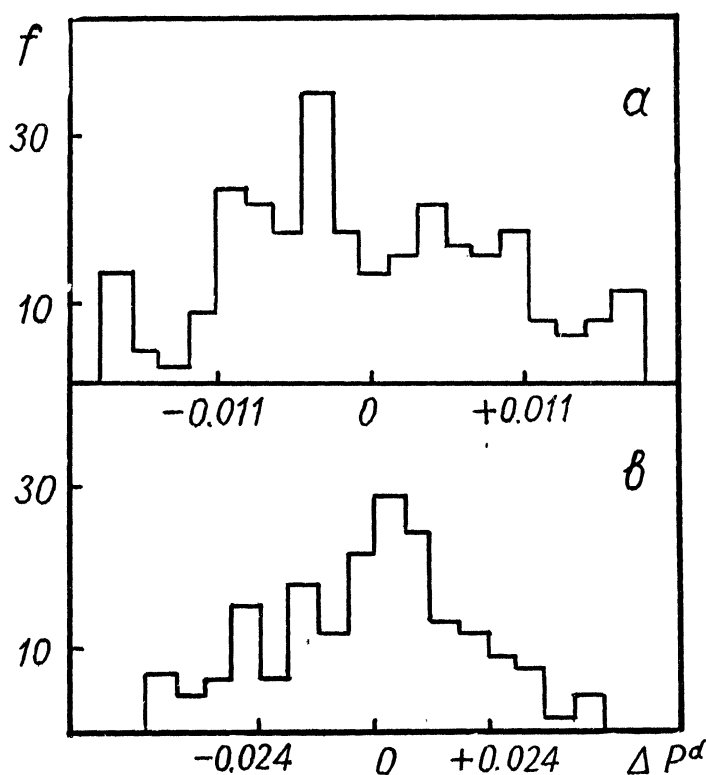


Рис. 2

Графики автокорреляционной функции и спектральной плотности, каждый из которых построен по 150 вычисленным значениям, приведены соответственно на рис. 1с и рис. 1д. Единицы масштаба по осям абсцисс равны $1\tau = 1\rho = 90^{\text{д}}9$. При длине реализации $N=284$ значение максимального сдвига автокорреляционной функции было взято $C=150$.

Из рис. 1с видно, что колебания автокорреляционной функции (по крайней мере при величине сдвига $\tau=150$) не являются затухающими. Это говорит о том, что периодические изменения периода κ Рав действительно имеют место. График автокорреляционной функции является достаточно сложным и свидетельствует о том, что в изменении периода проявляются несколько составляющих с различными периодами. Это подтверждает также график спектральной плотности, на котором ясно видно несколько пиков. Высоты этих пиков, соответствующие им значения периодов и отношения этих периодов к основному периоду P_0 приведены в таблице 1.

Таблица 1

N	P^d	$S(p)10^{-5}$	R/P_0	N	P^d	$S(p)10^{-5}$	R/P_0
1	7000	1.376	770	4	1550	0.296	170
2	3770	0.786	415	5	1000	0.131	110
3	1910	0.275	210				

Как видно из рис. 1d пики являются довольно широкими, что вызвано, с одной стороны, присутствием низкочастотного шума, а с другой стороны — недостаточно большой длиной реализации, однако существование по крайней мере первых двух из них представляется реальным.

Рис. 1с показывает, что периоду $P = 7000^d$ соответствует амплитуда автокорреляционной функции около $0,3 \cdot 10^{-4}$. Это говорит о том, что изменение периода κP_{av} , с периодом $P = 7000^d$ имеет амплитуду, приблизительно равную $\Delta P \approx 0,008$.

2. AP Herculis

Диаграмма О—С и кривая изменения периода AP Her приведены на рис. 3а и рис. 3б. Уклонения вычислялись от элементов В а с и л ь я н о в с к о й и Е р л е к с о в о й (1970).

$$\text{Max} = 2424104.90 + 10^d 3979 \cdot E$$

При построении диаграммы О—С были использованы наблюдения различных авторов, полученные на протяжении более 50 лет.

Для полученных значений ΔP_i была построена гистограмма частот, приведенная на рис. 2б. Вследствие малой длины реализации, вид гистограммы частот является весьма сложным и по ней трудно сделать какие-либо выводы о наличии скрытой периодичности. Анализ, с применением критерия χ^2 при уровне значимости $\alpha = 0.15$ показывает, что данное распределение также отлично от нормального.

Графики автокорреляционной функции и спектральной плотности, каждый из которых построен по 100 вычисленным точкам, приведены соответственно на рис. 3с и рис. 3д. Единицы масштаба по осям абсцисс равны $1\tau = 1\rho = 103,979$. При длине реализации $N = 191$ максимальный сдвиг автокорреляционной функции был выбран $C = 100$.

В случае AP Her автокорреляционная функция также не стремится к нулю, но вид ее еще более сложен чем у κP_{av} . График спектральной плотности имеет вид пиков, данные о которых приведены в таблице 2.

Таблица 2

N	P^d	$S(p)10^{-4}$	R/P_0	N	P^d	$S(p)10^{-4}$	R/P_0
1	8840	0.941	850	3	2180.	0.336	210
2	3540	0.500	340	4	1720	0.308	165

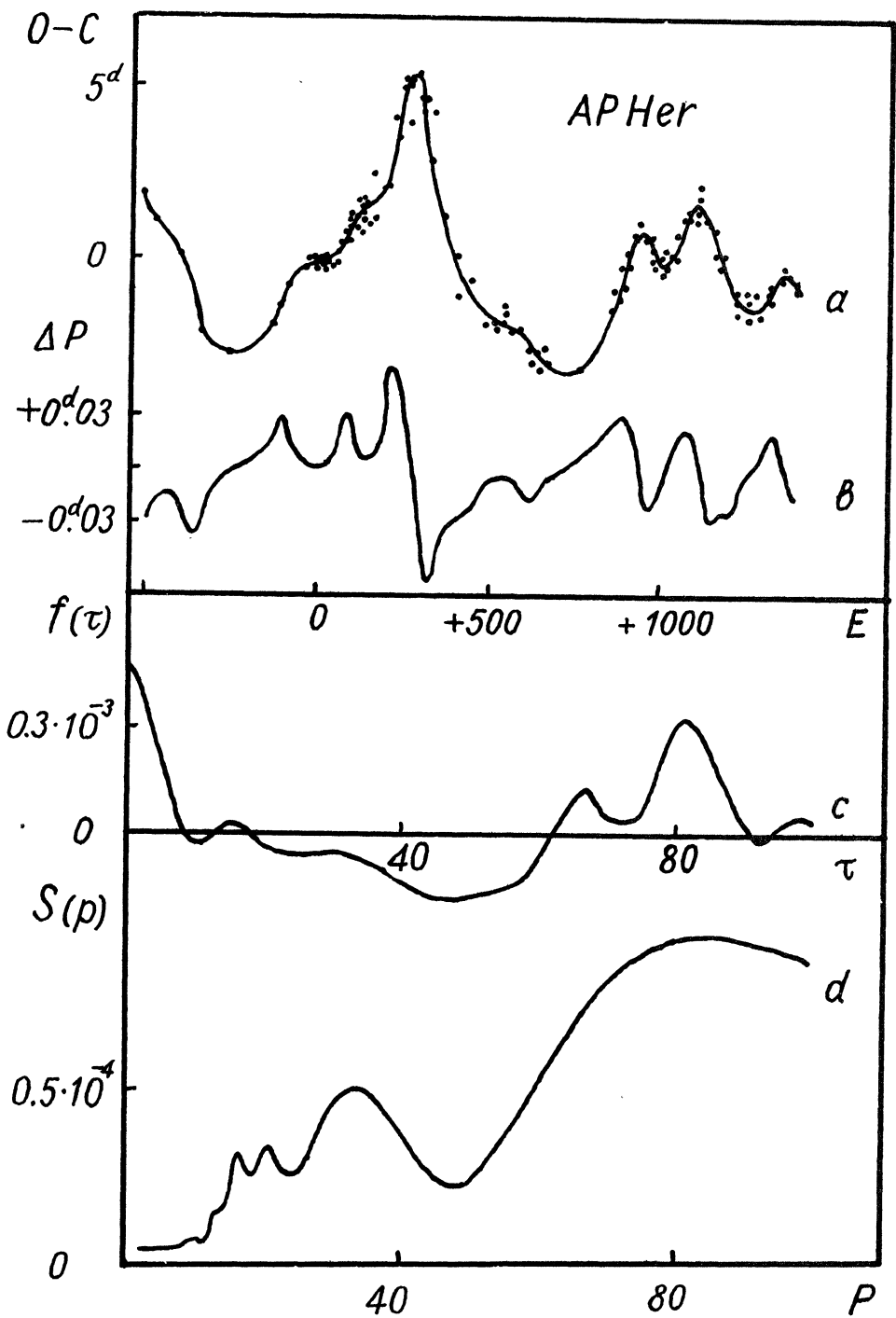


Рис. 3

Пик в районе $p=85$ является очень широким, что в первую очередь вызвано малой длиной реализации. Однако существование его представляется реальным, т. к. колебание с этим периодом хорошо заметно на диаграмме $O-C$.

Из графика автокорреляционной функции можно приближенно определить, что изменение периода $AP\ Her$ с периодом $P=8840^d$ имеет амплитуду $\Delta P \approx 0.023$.

Таким образом, приведенный анализ указывает на возможность присутствия в изменении периодов $\kappa\ Pav$ и $AP\ Her$ периодических составляющих. Природа подобных изменений периодов цефеид в настоящее время не ясна. С этой точки зрения весьма важным представляется дальнейшее наблюдение этих звезд, которое позволит как уточнить периоды, так и, возможно, выяснить механизм, вызывающий эти изменения периодов.

Автор приносит благодарность Е. В. Войтюк, оказавшей большую помощь в счете на ЭВМ, а также П. Н. Холопову за просмотр рукописи и критические замечания.

Л и т е р а т у р а:

- Бендат Дж., Пирсол А., 1971, Измерение и анализ случайных процессов, изд. "Мир", М.
 Васильяновская О.П., Ерлексова Г.Е., 1970, Бюл. ин-та астрофизики АН Тадж. ССР, № 53, 3.
 Паренаго П.П., 1948, ПЗ 6, 57.
 Паренаго П.П., 1958, ПЗ 11, 236.

Саратовский гос. университет
 им. Н. Г. Чернышевского

*Поступила в редакцию
 25 октября 1973 г.*