

Переменные звезды **21**, № 5, 766–770, 1982
Variable Stars **21**, No 5, 766–770, 1982

Статистический анализ кривых блеска переменных звезд

R Живописца и Z Большой Медведицы

И.А. Ключ

Показано, что процесс изменения блеска исследуемых звезд является стохастическим процессом с нестационарной дисперсией. Предполагается, что нестационарность связана с присутствием колебаний, продолжительность которых превышает анализируемые периоды наблюдений обоих объектов.

На кривой блеска R Живописца обнаружен цикл со средней продолжительностью 170 дней, а у Z Большой Медведицы — цикл продолжительностью 190 дней. Форма найденных колебаний не является гармонической. Изменение блеска данных звезд напоминает изменение блеска переменных звезд типа Миры Кита.

A Statistical Analysis of the Light Curves of Variable Stars

R Pictoris and Z Ursae Majoris

by I.A. Klyus

It is shown that the process of light variations of investigated stars is the stochastic process with the nonstationarity connected with presence of oscillations more prolonged then observational time intervals in both objects.

The cycle with the average duration of 170 days has been found on the light curve of R Pic and 190 days for Z UMa. These oscillations are not harmonical. The light variations of these stars are very much like the light variations of the Mira Ceti type variable stars.

R Живописца принадлежит к полуправильным переменным звездам типа SRa, а Z Большой Медведицы — к переменным звездам типа SRb. Обе звезды относятся к тем объектам, у которых наблюдаются значительные неправильности в изменении блеска. Опыт исследования подобных объектов показывает, что процесс изменения их блеска является стохастическим. Следовательно, их анализ необходимо проводить на основе методов математической статистики. Это сделано в данной работе.

Методика статистического анализа кривых блеска переменных звезд описана в работе (Ключ и Лобусов, 1975).

2. Анализ блеска R Живописца.

Данные об изменении блеска этой звезды брались из работы (Мейолл, 1953). В ней приведена кривая, построенная по визуальным наблюдениям AAVSO с 1923 по 1953 гг. (JD 2423630–34500). Небольшие раз-

рывы в наблюдениях устранялись при помощи графической интерполяции. Таким образом, удалось получить эквидистантную кривую блеска R Живописца, состоящую из 1080 точек, расположенных через десять дней друг от друга.

Максимальное значение блеска R Живописца равно $6^m.00$, минимальное — $10^m.20$. Кривая блеска звезды характеризуется следующими статистическими параметрами: средним блеском $\bar{x} = 7^m.94$, дисперсией $D = 0.552$ и угловым коэффициентом линейного тренда $m = 3.91 \cdot 10^{-4}$. Размах изменения блеска из-за присутствия тренда составляет $a = 0^m.42$, что значительно больше средней ошибки наблюдений. Можно ожидать, что процесс изменения блеска R Живописца является нестационарным.

Проверка этого предположения осуществлялась при помощи теста стационарности. Для этого использовался критерий серий (Бендат и Пирсол, 1974). Тестом проверялась стационарность процесса относительно изменения среднего блеска и дисперсии при уровне значимости $\alpha = 0.05$. Данные теста расположены в таблице 1.

Таблица 1

n	$n_{32;0.975}$	n_x	n_D	$n_{32;0.025}$
32	24	32	18	41

Где n — ожидаемое число серий, $n_{32;0.975}$ — нижняя граница ожидаемого числа серий, $n_{32;0.025}$ — верхняя доверительная граница ожидаемого числа серий, n_x — наблюдаемое число серий среднего значения блеска, n_D — наблюдаемое число серий дисперсии. Число серий дисперсии меньше значения нижней доверительной границы ожидаемого числа серий. Следовательно, процесс изменения блеска R Живописца имеет нестационарную дисперсию. Интервал наблюдений звезды очень мал, поэтому нет никаких оснований полагать, что изменения дисперсии обусловлено эволюцией звезды. По-видимому, это изменение является следствием колебания блеска, период которого превышает величину интервала наблюдений.

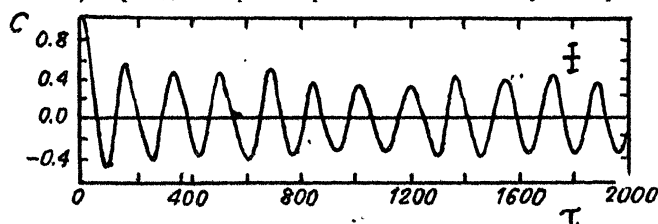


Рис. 1. График корреляционной функции R Живописца. По оси абсцисс отложены сдвиги в днях. Вертикальной чертой указана удвоенная стандартная ошибка корреляционной функции для больших сдвигов.

Корреляционная функция (КФ), график которой представлен на рис. 1, колеблется с периодом примерно равным 170 дней. Амплитуда колебания с увеличением сдвига уменьшается. Однако, даже для самых

больших сдвигов КФ размах колебания превышает величину двойной стандартной ошибки. Это можно объяснить двумя причинами. Во-первых, тем, что максимальный сдвиг, равный 2000 дней, недостаточен, и, во-вторых, медленное затухание КФ является следствием коррелированности ее точек (Дженкинс и Ваттс, 1971). Данный эффект способствует тому, что выборочная оценка КФ не всегда затухает также быстро как ее математическое ожидание.

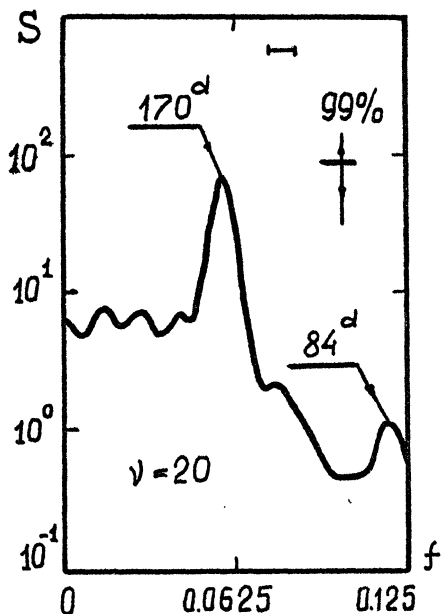


Рис.2. График нормированного спектра мощности R Живописца. По оси абсцисс отложены частоты, обратные десяти дням. Вертикальной стрелкой обозначен 99%-ный доверительный интервал, горизонтальной чертой — ширина полосы частот.

На графике нормированного спектра мощности (рис. 2) присутствуют два пика: $P_1 = 84.2 \pm 0.9 \approx 84^d$ и $P_2 = 170.2 \pm 3.6 \approx 170^d$. Первый пик сравним по величине с 99%-ным доверительным интервалом, второй значительно превышает его. Поскольку число степеней свободы на каждое оцениваемое значение спектра $\nu = 20$, можно считать, что пики действительно существуют. Отсутствие на графике КФ колебания с периодом $P_1 = 84^d$ и кратность периодов, говорят о том, что форма основного колебания с периодом $P_2 = 170^d$ отлична от гармонической. Колебание с периодом $P_1 = 84^d$ представляет верхнюю гармонику.

Проверка, является ли обнаруженное колебание детерминированным или характеризует узкополосный случайный шум, т.е. цикл, осуществлялась при помощи теста периодичности. Тест показал, что данное колебание — цикл. Средняя амплитуда его равна $A_2 = 0.74$.

Необходимо отметить, что процесс изменения блеска R Живописца очень похож на процесс изменения блеска переменных звезд типа Миры Кита. Это предположение подтверждают: большая начальная амплитуда колебания КФ, медленное ее затухание, отличие формы колебания блеска от гармонической и отсутствие мультипериодичности на спектре мощности.

2. Анализ блеска Z Большой Медведицы.

Данные об изменении блеска звезды были взяты из работы (Мей-олл, 1957). В ней приведена кривая, построенная по визуальным наблюдениям AAVSO с 1928 по 1957 гг. (JD 2425450–36000). Анализируемая кривая блеска состояла из 1056 точек, расположенных друг от друга через десять дней.

Максимальное значение блеска Z Большой Медведицы равно $6^m.15$, минимальное $-9^m.15$. Кривая блеска характеризуется следующими статистическими параметрами: средним блеском $\bar{x}=7^m.83$, дисперсией $D=0.258$ и угловым коэффициентом линейного тренда $m=1.24 \cdot 10^{-4}$. Размах изменения блеска из-за присутствия тренда составляет $a=0^m.01$, что значительно меньше средней ошибки наблюдений.

Стационарность процесса изменения блеска звезды проверялась тестом периодичности. Данные теста расположены в таблице 2.

Таблица 2

n	$n_{24;0.975}$	n_x	n_D	$n_{24;0.025}$
24	18	19	13	33

В таблице видно, что процесс изменения блеска имеет нестационарную дисперсию. Анализ графика изменения дисперсии позволил прийти к заключению, что нестационарность обусловлена присутствием колебания с периодом превышающим величину анализируемого интервала наблюдений.

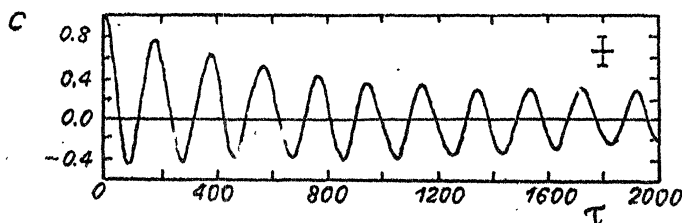


Рис.3. График корреляционной функции Z Большой Медведицы. Обозначения такие же, как и на рис.1.

Корреляционная функция кривой блеска Z Большой Медведицы (рис. 3) колеблется с периодом около 190 дней. Быстрое уменьшение амплитуды колебания говорит о том, что процесс изменения блеска звезды является стохастическим процессом, а колебание характеризует узкополосный случайный шум.

Форма колебания КФ отлична от гармонической (максимумы на графике более острые по сравнению с минимумами). Данный вывод подтверждает график нормированного спектра мощности (рис. 4), на котором присутствуют три пика превышающих 99%-ный доверительный интервал. Колебания, соответствующие этим пикам, имеют периоды: $P_1=65^d.6 \pm 0^d.6$, $P_2=98^d.8 \pm 1^d.2$ и $P_3=190^d.5 \pm 4^d.6$. Третий период кратен

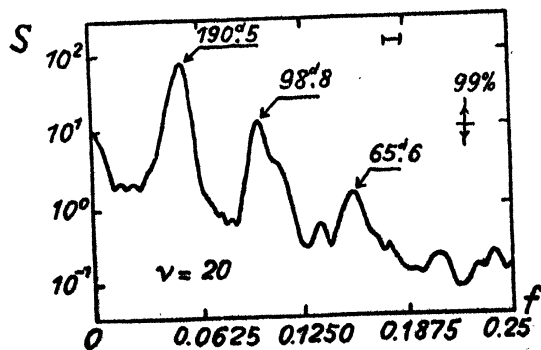


Рис. 4. График нормированного спектра мощности Z Большой Медведицы. Обозначения такие же, как и на рис. 2.

первым двум. Первое и второе колебания отсутствуют на графике КФ. Следовательно, они являются высшими гармониками колебания с периодом 190.5 дней.

Тест периодичности показал, что обнаруженное колебание характеризует узкополосный случайный шум (цикл). Средняя амплитуда его равна $A_z = 0^m.50$.

Статистический анализ блеска Z Большой Медведицы позволя-

ет сделать вывод, такой же как и для R Живописца — процесс изменения блеска звезды подобен изменению блеска переменных звезд типа Миры Кита.

Литература

- Вендат Д. и Пирсол А., 1974, Измерение и анализ случайных процессов, "Мир", М.
 Дженкинс Г. и Ваттс Д., 1971, Спектральный анализ и его приложения, вып. 1, "Мир", М.
 Ключ И.А. и Лобусов И.И., 1975, ПЗ 20, 13.
 Мейолл, 1953 — Mayall M.W., J. Roy. Astron. Soc. Canada, 47, 166.
 Мейолл, 1957 — Mayall M.W., J. Roy. Astron. Soc. Canada, 51, 353.

Одесский электротехнический
 ин-т связи им. А.С. Попова

Поступила в редакцию
 16 апреля 1980 г.