

УДК 524.3-6

**Б. Е. Жилияев^{1,2}, А. В. Бондарь², М. В. Андреев²,
С. Н. Похвала¹, Ю. Н. Иващенко³, В. Н. Решетник⁴,
В. Н. Петухов¹, О. А. Святогоров¹, И. А. Верлюк¹**

¹Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины
ул. Академика Заболотного 27, Киев, 03680
zhilyaev@mao.kiev.ua

²Международный центр астрономических, медицинских и экологических исследований
Национальной академии наук Украины,
ул. Академика Заболотного 27, Киев, 03680

³Андрушевская астрономическая обсерватория
Андрушевка, Житомирская область, Украина

⁴Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
ул. Владимирская 60, Киев, 03601 ГСП

Наблюдения высокочастотных вариаций спектральных линий хромосферноактивных звезд 61 Cyg AB

Сообщается об обнаружении быстрой переменности в бальмеровских линиях водорода, Ca II H, K, триплета b Mg I у хромосферноактивных звезд 61 Cyg A, B в субсекундном диапазоне. Спектральные наблюдения 61 Cyg A, B проводились с MMCS-спектрографом в каскадированном фокусе 2-м телескопа на пике Терскол ($R = 13000$), с бесщелевым гризм-спектрографом, установленном на 60-см телескопе на пике Терскол ($R = 100$), а также на 60-см телескопе Андрушевской обсерватории ($R = 200$) в рамках международных кампаний наблюдений переменных звезд с Синхронной сетью телескопов. Спектры высокого разрешения получались с интервалом около 2 мин, спектры низкого разрешения — с интервалом от 2 до 3 с. Спектральный мониторинг продолжался от 0.5 до 2 ч. Мы обнаружили, что хромосферноактивные карликовые звезды 61 Cyg A, B, имеющие мощные пятна на своих поверхностях, демонстрируют быстрые вариации в линиях водорода, ионизированного кальция Ca II H, K, хромосферного триплета b Mg I на временном масштабе примерно от 2 с до 2 мин. Вариации интенсивности линий составляют от 1.5 % в бальмеровских линиях до 0.5 % в линиях триплета b Mg I. Эти ва-

риации хорошо описываются моделью дробового шума в виде случайных элементарных импульсов с частотой появления от нескольких долей событий в секунду до нескольких событий в секунду. Сравнение быстрых вариаций в хромосферных линиях на разных временных интервалах демонстрирует нестационарный характер активности как на малой (субсекундной), так и на большой временной шкале.

СПОСТЕРЕЖЕННЯ ВИСОКОЧАСТОТНИХ ВАРІАЦІЙ СПЕКТРАЛЬНИХ ЛІНІЙ ХРОМОСФЕРНОАКТИВНИХ ЗІРОК 61 CYG, ЖИЛЯЄВ Б. Ю., БОНДАР А. В., АНДРЕЄВ М. В., ПОХВАЛА С. М., ІВАЩЕНКО Ю. М., РЕШЕТНИК В. М., ПЕТУХОВ В. М., СВЯТОГОРОВ О. О., ВЕРЛЮК І. А. — Повідомляється про виявлення швидкої змінності у бальмерівських лініях водню, Ca II H, K, триплету b Mg I у хромосферноактивних зірок 61 Cyg A, B у субсекундному діапазоні. Спектральні спостереження 61 Cyg A, B проводились з MMCS-спектрографом в касегренівському фокусі 2-м телескопа на піку Терскол ($R = 13000$), з бесцилінним ґризм-спектрографом, встановленим на 60-см телескопі на піку Терскол ($R = 100$), а також на 60-см телескопі Андрушівської обсерваторії ($R = 200$) у рамках міжнародних кампаній спостережень змінних зірок з Синхронною мережею телескопів. Спектри високої роздільної здатності отримувались з інтервалом близько 2 хв, спектри низької роздільної здатності — з інтервалом від 2 до 3 с. Спектральний моніторинг тривав від 0.5 до 2 год. Ми виявили, що хромосферноактивні карликові зірки 61 Cyg A, B, що мають потужні плями на своїх поверхнях, демонструють швидкі варіації в лініях водню, іонізованого кальцію Ca II H, K, хромосферного триплету b Mg I в часовому масштабі приблизно від 2 с до 2 хв. Варіації інтенсивності ліній становлять від 1.5 % у бальмеровських лініях до 0.5 % у лініях триплету b Mg I. Ці варіації добре описуються моделлю дробового шуму у вигляді випадкових елементарних імпульсів з частотою появи від декількох часток подій за секунду до декількох подій за секунду. Порівняння швидких варіацій у хромосферних лініях на різних часових інтервалах демонструє нестационарний характер активності як на малій (субсекундній), так і на великій часовій шкалі.

HIGH-FREQUENCY VARIATIONS OF SPECTRAL LINES IN THE CHROMOSPHERICALLY ACTIVE STARS 61CYG AB, by Zhilyaev B. E., Bondar A. V., Andreev M. V., Pokhvala S. M., Ivashchenko Yu. M., Reshetnyk V. M., Petukhov V. N., Svyatogorov O. A., Verlyuk I. A. — We report the detection of rapid variability in the hydrogen Balmer lines, Ca II H, K, b Mg I triplet at the chromospherically active stars 61 Cyg A, B in the subsecond range. Spectral observations of 61 Cyg A, B were performed with the MMCS spectrograph at the Cassegrain focus of the 2-m telescope at peak Terskol ($R = 13000$), with a grating spectrograph mounted on the 60 cm telescope at peak Terskol ($R = 100$), and the 60 cm telescope of the Andrushivka Observatory ($R = 200$) in the framework of the international

campaign of observations of variable stars with the Synchronous Network of Telescopes. High resolution spectra were obtained at intervals of about 2 minutes. Low resolution spectra were obtained at intervals of two to three seconds. Spectral monitoring lasted from half an hour to two hours. We found that the chromospherically active dwarf stars 61 Cyg A, B, having a powerful spots on their surfaces exhibit rapid variations in the hydrogen lines, ionized calcium, Ca II H, K, chromospheric triplet b Mg I on a time scale of about 2 seconds to about 2 minutes. Variations in intensity of the lines range from 1.5 % in the Balmer lines to about 0.5 % in the lines of the triplet b Mg I. These variations are well described by the model of the shot noise in the form of random elementary pulses with the frequency of occurrence of a few fractions of events per second to a few events per second.

ВВЕДЕНИЕ

Индикатором хромосферной активности является наличие ярко выраженного эмиссионного компонента в ядрах линий H и K Ca II и линиях водорода. Эти эмиссии, например, в спектрах Арктур и других звезд периодически варьируют по аналогии с солнечным циклом.

Обнаружены вариации хромосферных индикаторов у вспыхивающих звезд [5]. Обнаружены быстрые вариации блеска хромосферно-активного гиганта V390 Aur в диапазоне частот 0.1...10 Гц [6]. Эти вариации связывают с микровспышками, основным источником нагрева корон хромосферноактивных звезд, являющихся мощными источниками рентгеновского излучения.

Циклы корональной активности, подобные солнечным, наблюдались на 61 Cyg A, B у обоих звездных компонентов, K5V, $V = 5.21^m$ (компонент A) и K7V, $V = 6.03^m$ (компонент B) [3]. Были найдены вариации на коротких временных масштабах, а также долговременные вариации рентгеновской активности. Вариации на коротких временных масштабах связаны с яркими солнечноподобными активными областями (пляжами) в окрестности магнитных пятен. Вспышки могут быть настолько частыми, что их кривые блеска перекрываются, сглаживая выходы от отдельных мелких событий, которые могут рассматриваться в качестве основного источника нагрева короны.

В работе приводятся данные наблюдений со спектрографами среднего и низкого разрешения, описаны методы обработки больших массивов спектров с высоким временным разрешением. Показано, что наблюдаемые закономерности переменности могут быть связаны с ансамблем микровспышек продолжительностью начиная от десятых долей секунды до десятков секунд. Вариации интенсивностей спектральных линий хорошо описываются моделью дробового шума в виде случайных элементарных импульсов. Оценены характеристики микровспышек у хромосферноактивных карликовых звезд 61 Cyg A, B.

НАБЛЮДЕНИЯ

Спектральные наблюдения 61 Cyg A, B проводились в октябре 2013 г. с касегреновским мультимодовым спектрографом (Multi Mode Cassegrain Spectrometer — MMCS), установленном в фокусе 2-м телескопа на пике Терскол ($R = 13000$), с бесщелевым гризм-спектрографом, установленном на 60-см телескопе Андрушевской обсерватории ($R = 200$) в июне 2014 г., а также с бесщелевым гризм-спектрографом, установленном на 60-см телескопе на пике Терскол ($R \sim 100$) в июне 2012 г. в рамках международных кампаний наблюдений переменных звезд с Синхронной сетью телескопов. Описание спектральных приборов можно найти в работе [6] и на сайте www.terkol.com. Целью наблюдений было обнаружение быстрых вариаций хромосферноактивных линий в субсекундном диапазоне. Спектры высокого разрешения получались с интервалом около 2 мин, спектры низкого разрешения — с интервалом от 2 до 3 с. Спектральный мониторинг продолжался от 0.5 до 2 ч.

Спектры и вариации в спектрах на разных временных масштабах позволяют сделать заключение о наличии быстрых вариаций в субсекундном диапазоне у обоих звездных компонентов 61 Cyg.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Спектры 61 Cyg A, B на рис. 1, полученные с MMCS-спектрографом, демонстрируют эмиссионные компоненты в ядре линии поглощения H, что свидетельствует о хромосферной активности звезд.

На рис. 2 можно видеть вариации в центре линии Ca II K (396.8 нм) у звезды 61 Cyg B по данным наблюдений с временным разрешением 2 мин. Однако наиболее убедительные доказательства вариаций хромосферноактивных линий можно видеть на спектрах низкого разрешения с высоким временным разрешением в субсекундном диапазоне. Образец такого спектра 61 Cyg A, полученный с бес-

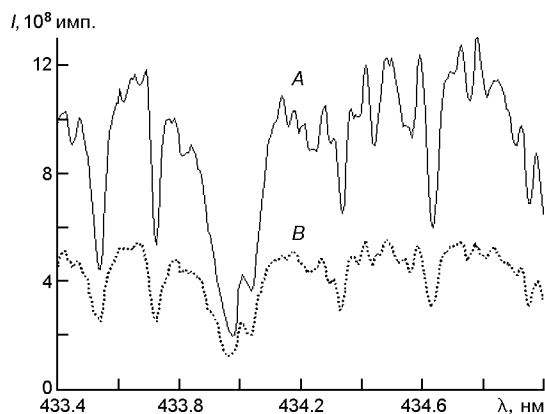


Рис. 1. Спектры компонентов A, B звезды 61 Cyg в области линии H по выборке из 60 и 21 спектров соответственно с временным разрешением 2 мин

Рис. 2. Спектр компонента В звезды 61 Cyg в области линии Ca II K и средние квадратичные вариации по выборке из 12 спектров с временным разрешением 2 мин

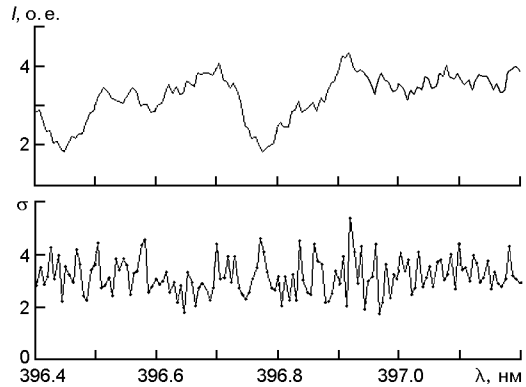


Рис. 3. Бесщелевой спектр низкого разрешения (с разрешением 2 нм) звезды 61 Cyg A по выборке из 100 спектров с временным разрешением 2.88 с

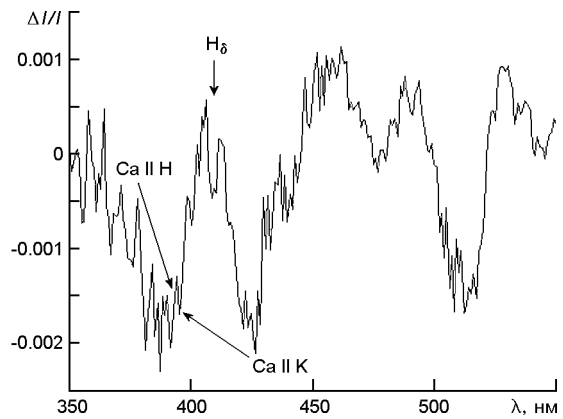
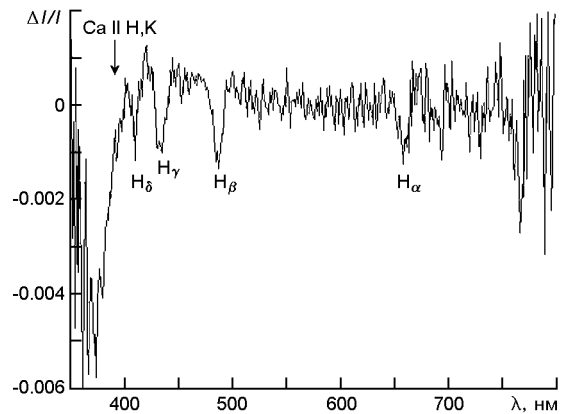


Рис. 4. Бесщелевой спектр низкого разрешения (с разрешением 2 нм) звезды сравнения 77 Cyg



щелевым спектрографом на 60-см телескопе Андрушевской обсерватории с разрешением 2 нм, представлен на рис. 3.

Для надежного установления факта переменности хромосферно-активных линий важно показать, что такая переменность отсутствует у звезд, не имеющих хромосферы. Для этой цели мы использовали звезду сравнения 77 Cyg спектрального класса A0V, $V = 5.73^m$.

На рис. 4 видны неблендированные линии Ca II H, K, бальмеровские линии поглощения H — H по выборке из 500 спектров с временным разрешением 2.88 с у звезды сравнения 77 Cyg.

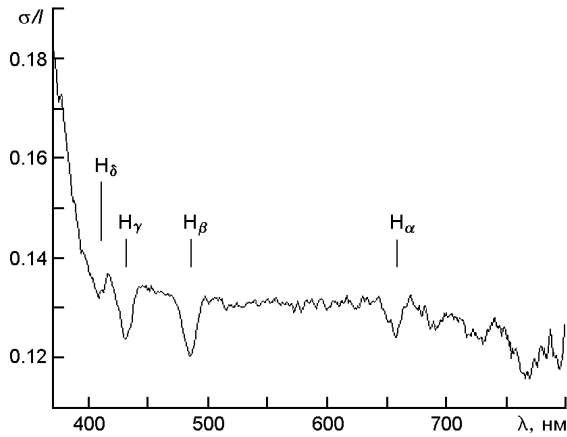


Рис. 5. Вариации в бесчелевых спектрах 77 Cyg с разрешением 2 нм

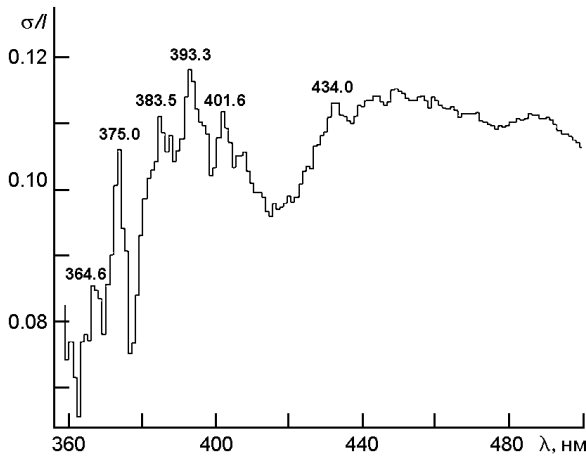


Рис. 6. Относительные вариации в спектре 61 Cyg A по выборке из 100 спектров с временным разрешением 2.88 с

На рис. 5 представлены относительные вариации в спектре 77 Cyg, равные отношению средних квадратичных отклонений в массиве спектров к средней интенсивности в спектре на данной длине волны. В отсутствии переменной вариации интенсивности обусловлены только фотонными шумами светового потока с пуассоновским распределением. Поскольку у случайных величин с распределением Пуассона среднее значение и дисперсия равны, то легко видеть, что минимумы относительных вариаций в спектре совпадают с минимумами интенсивностей. Именно такую картину можно наблюдать на рис. 5. Теоретически относительные вариации в спектре равны корню квадратному из распределения интенсивности в спектре.

Таким образом, рис. 4, 5 позволяют заключить, что вариаций интенсивностей в спектре звезды сравнения 77 Cyg нет.

Совершенно иную картину демонстрируют хромосферные спектральные линии звезд 61 Cyg A, B на диаграммах вариаций. У 61 Cyg A на рис. 6 видны пики активности на длинах волн вблизи границы серии Бальмера (364.6 нм), линии Ca II H (393.3 нм), бальмеровских линий H (375.0 нм), H (383.5 нм), H (434.0 нм). Полуширины линий составляют $FWHM \sim 4$ нм, вариации в линиях — от 0.5 до 2 %.

Рис. 7. Вариации в бесщелевых спектрах 61 Cyg B со спектральным разрешением 12 нм и временным разрешением 2 с (60-см телескоп Цейса, пик Терскол)

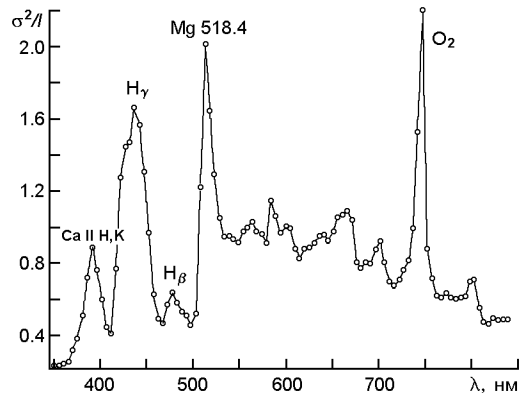
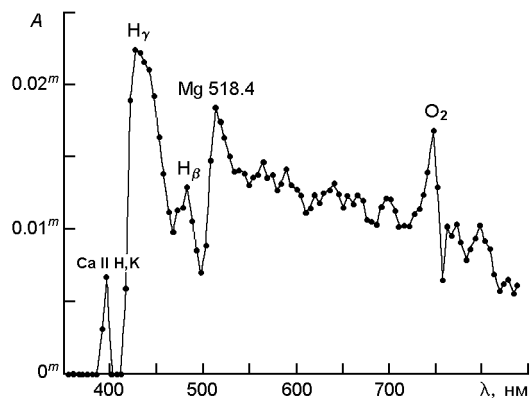


Рис. 8. Амплитуды вариаций в спектрах 61 Cyg B по данным, приведенным на рис. 7



Отсюда легко оценить, что вариации эквивалентных ширин линий составляют от 20 до 80 пм.

Индикатор активности — отношение дисперсии к среднему значению. Для случайной пуассоновской величины оно равно единице. Относительные вариации в спектре 61 Cyg B (рис. 7) отчетливо показывают максимумы в активных хромосферных линиях Ca II, H, β Mg I, а также в атмосферной линии кислорода O₂ (60.5 нм).

Дисперсии и средние величины в массивах спектров позволяют вычислить амплитуды вариаций и оценить их ошибки. По данным, приведенным на рис. 8 для звезды 61 Cyg B, можно оценить амплитуды вариаций интенсивностей линий от 0.005 до 0.015^m, а их ошибки по спокойным участкам спектра — около 0.001^m.

Важно установить временной интервал, на котором существенно изменяются интенсивности спектральных линий. Для этих целей можно использовали записи спектров с разным временным разрешением. Возможно поэтому вариации в линиях водорода лишь частично отмечаются на спектрах с высоким спектральным разрешением (рис. 2), где временное разрешение составляет больше 2 мин, и отношение сигнал/шум невелико. В этой связи уместно напомнить, что быстрые вариации блеска, обнаруженные у хромосферноактивного гиганта V390 Aur и связанные с микровспышками, регистрируются в диапазоне частот 0.1...10 Гц [5]. Это означает, что видимых признаков пе-

ременности как блеска, так и спектра у этой звезды не удастся обнаружить при временном разрешении наблюдений больше 10 с.

ОЦЕНИВАНИЕ ОШИБОК ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ КРИВЫХ

Важно установить достоверность пиков активности, приведенных на рис. 6 и 7. Оценить ошибки экспериментальных кривых можно двояким способом: либо путем повторных измерений, либо путем измерений статистических характеристик ошибок измерений. Применение оператора дифференцирования к экспериментальной кривой, т. е. взятия первых разностей

$$y(n) - y(n-1),$$

является эффективным средством для определения статистических свойств шумов измерений [1]. Первые разности содержат два компонента: изменение сигнала и разность шумов. Если изменение сигнала мало, остается шум. Поэтому шумовые характеристики можно оценивать по первым разностям экспериментальной кривой в областях с малой вариацией полезного сигнала. Поскольку ошибки измерений в подавляющем числе случаев можно представить в виде высокочастотного нормального белого шума, операция дифференцирования экспериментальной кривой не искажает существенно статистические свой-

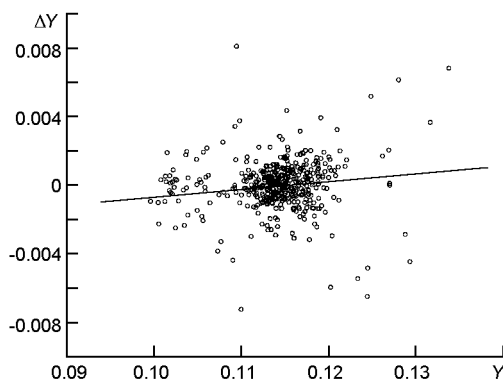


Рис. 9. Зависимость первых разностей ΔY от ординаты экспериментальной кривой на рис. 6

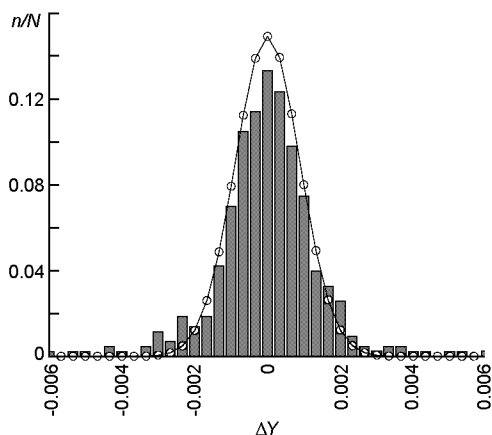


Рис. 10. Распределение первых разностей ΔY от ординаты кривой на рис. 6: столбики — наблюдения, кружки — аппроксимация

ства ошибок измерений. Это дает основание отождествить первые разности экспериментальной кривой с ошибками измерений. Однако чтобы отделить сигнальный компонент первых разностей от шумового, следует учесть весь объем данных измерений.

Исследуем свойства ошибок экспериментальной кривой на примере кривой относительных вариаций в спектре звезды 61 Cyg A, приведенной на рис. 6. На рис. 9 приведена зависимость первых разностей

Y от ординаты экспериментальной кривой (относительных вариаций в спектре 61 Cyg A). Подавляющее число точек концентрируется вдоль линии регрессии в области значений ошибок от 0.001 до 0.002. Незначительная доля точек, выпадающий из линейной зависимости, отражает, как отмечалось выше, вариации сигнала, а не шумов при дифференцировании экспериментальной кривой. Распределение первых разностей Y от ординаты кривой на рис. 10 хорошо описывается кривой нормального распределения. Согласно известной теореме квадраты первых разностей будут иметь распределение χ^2 с двумя степенями свободы (рис. 11).

Таким образом, прямая регрессии для абсолютных значений первых разностей Y в рамках нашей модели на рис. 11 может рассматриваться как оценка ошибок экспериментальной кривой с известной функцией распределения вероятности.

На рис. 12 приведена кривая относительных вариаций в спектре звезды 61 Cyg A и величины ошибок в пиках активности в коротковолновой части спектра, вычисленные по нашей модели. Существенные вариации можно видеть в линиях водорода H κ , H η , H ζ , в линии Ca II H.

Рис. 11. Распределение ошибок измерений и линия регрессии в зависимости от ординаты кривой на рис. 6

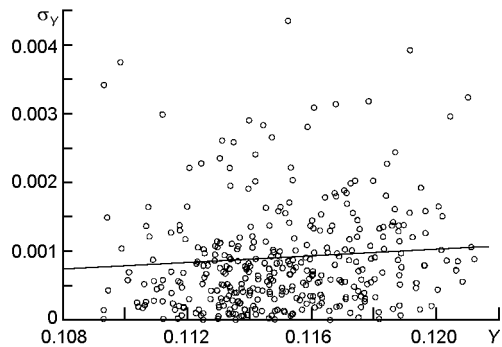
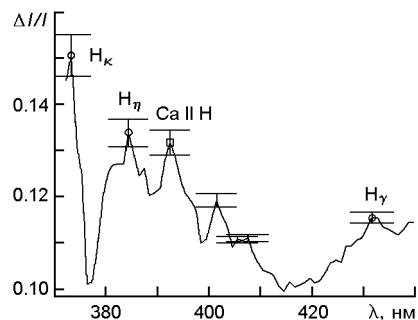


Рис. 12. Относительные вариации в спектре 61 Cyg A, представленные на рис. 6, с величинами ошибок в пиках активности



МОДЕЛЬ ДРОБОВОГО ШУМА

Вариации хромосферных индикаторов у вспыхивающих звезд, а именно линий ионизированного кальция Ca II H, K, бальмеровских линий водорода, триплета b Mg I [5], а также быстрые вариации блеска хромосферноактивного гиганта V390 Aur в диапазоне частот 0.1...10 Гц [6], обычно связывают с микровспышками, которые считаются основным источником нагрева корон хромосферноактивных звезд.

Модель дробового шума, рассматриваемого как стохастический пуассоновский процесс, связанный с появлением случайных элементарных импульсов, является хорошим приближением для описания ансамбля микровспышек.

Рассмотрим простейший стационарный дробовый шум вида

$$I(t) = \sum_i h(t - t_i), \quad t \geq 0, \quad (1)$$

где времена появления t_i элементарных импульсов одинаковой формы h описываются пуассоновским потоком с интенсивностью λ импульсов в секунду. Основные характеристики процесса $I(t)$, а именно математическое ожидание m , дисперсия D и автокорреляционная функция R определяются теоремой Кемпбелла [2] о суперпозиции независимых случайных импульсов:

$$m(t) = \lambda \int_0^t h(s) ds, \quad (2)$$

$$D(t) = \lambda \int_0^t h^2(s) ds, \quad (3)$$

$$R(t, t + \tau) - R(t) = \lambda \int_0^{\tau} h(s)h(t + \tau - s) ds. \quad (4)$$

В частном случае импульсов треугольной формы с амплитудой A и длительностью D теорема Кемпбелла дает [2]

$$m = \lambda A D = \frac{4}{3} A^2 / (3 \lambda), \quad (5)$$

$$R(t) = \frac{4}{3} \frac{A^2}{\lambda} \left(1 - \frac{3}{2} \frac{t}{D} \right). \quad (6)$$

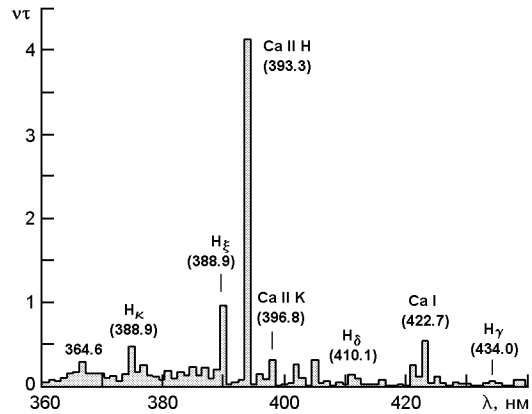
Отсюда легко получить выражение для интенсивности импульсного потока

$$\lambda = \frac{4}{3} \frac{m^2}{D}. \quad (7)$$

Множитель $4/3$ является форм-фактором, зависящим в данном случае от треугольной формы импульса h . Для импульсов простой формы форм-фактор близок к единице.

Таким образом, интенсивность импульсного потока может быть определена по результатам измерений вариаций спектральных линий.

Рис. 13. Значения интенсивности импульсного потока в зависимости от длины волны в бесщелевых спектрах 61 Cyg A со спектральным разрешением 2 нм, временем выборки 1 с и временным разрешением 3 с (60-см телескоп Андрушивской обсерватории)

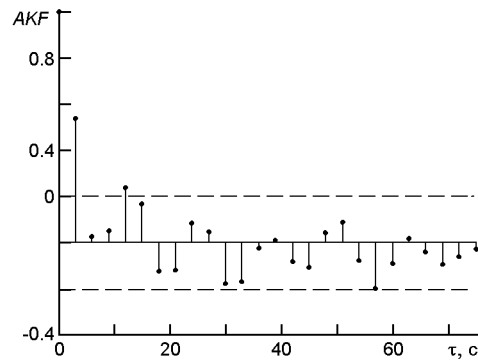


Отметим, что интенсивность импульсного потока в данном случае входит в комбинации с длительностью элементарного импульса. Полагая форм-фактор равным единице, можно оценить величину для данных относительных вариаций в спектре 61 Cyg A, приведенных на рис. 6. Величины m и D определяются как первые разности соответствующих кривых. Величины заполнения представлены на рис. 13. Видны пики активности на длинах волн вблизи границы серии Бальмера (364.6 нм), линий Ca II H, K, линий H_ξ, H_δ и H_γ, линии Ca I (422.7 нм).

Средние квадратичные ошибки величин заполнения близки к 0.02, как легко видеть из рис. 13. Величины заполнения бальмеровских линий лежат в пределах 0.1...1 единиц, линий Ca II — в пределах 0.3...4. Эти данные относятся к времени измерения спектра, равного 1 с. В нашем случае мы не оцениваем величину длительности элементарных импульсов. Оценить ее можно по измерениям автокорреляционной функции R (рис. 14). Мы можем с некоторой определенностью утверждать, что длительность элементарных импульсов на рис. 14 сравнима с временем измерения и составляет около 2 с согласно формуле (6).

На основе приведенных данных можно сделать вывод, что хромосферноактивная звезда 61 Cyg A демонстрирует микровспышки в виде случайных элементарных импульсов с частотой появления от 0.05 до двух событий за секунду. Теперь, зная частоту микровспышек, можно

Рис. 14. Выборочная автокорреляционная функция вариаций интенсивности линии Ca II H (393.3 нм) для звезды 61 Cyg A в зависимости от времени запаздывания. Штриховые линии — уровни достоверности АКФ 95%. Время корреляции составляет около 2 с



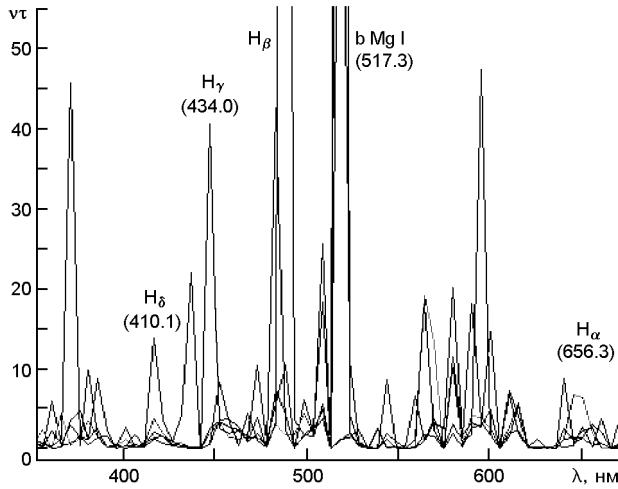


Рис. 15. Значения интенсивности импульсного потока звезды 61 Cyg A в зависимости от длины волны в бесщелевых спектрах (см. текст). Спектры вариаций построены по последовательным блокам данных длительностью 200 с

оценить их амплитуду по формуле (5). Так, амплитуды микровспышек в линии Ca II H (393.3 нм) составляют около 0.015^m , а в линии H (388.9 нм) — 0.005^m .

На рис. 15 представлены величины заполнения звезды 61 Cyg A, полученные по наблюдениям на 60-см телескопе обсерватории на пике Терскол 12 июня 2012 г. с низким спектральным разрешением (около 12 нм), временем накопления 0.3 с и временным разрешением 2 с.

Видны пики активности на длинах волн вблизи границы серии Бальмера, линий Ca II H, K, линий H, H, H и H, линий b Mg I. Спектры вариаций построены по последовательным временным блокам данных длительностью 200 с. Сравнение спектров вариаций на рис. 13 и 15, полученных в 2014 и 2012 гг., позволяет также заключить, что активность в хромосферных линиях демонстрирует ярко выраженный нестационарный характер как на малой, так и на большой временной шкале.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, мы можем заключить, что хромосферноактивные карликовые звезды 61 Cyg A, B спектрального класса K5V и K7V, имеющие мощные пятна на своих поверхностях, демонстрируют быстрые вариации в линиях водорода, ионизированного кальция Ca II H, K, хромосферного триплета b Mg I на временном масштабе от 2 с до 2 мин. Вариации интенсивности линий могут составлять от примерно 1.5 % в бальмеровских линиях до примерно 0.5 % в линиях b триплета Mg I. Вариации описываются моделью дробового шума в виде случайных элементарных импульсов с частотой появления от нескольких долей событий в секунду до нескольких событий в секунду в бальмеровских линиях водорода и ионизированного кальция. Амплитуды элементар-

ных событий составляют от примерно 0.005 до нескольких сотых звездной величины.

Сравнение спектров вариаций полученных у звезды 61 Cyg A в 2012 и 2014 гг., позволяет заключить, что активность в хромосферных линиях демонстрирует нестационарный характер как на малой (субсекундной), так и на большой временной шкале.

Отметим, что вариации спектральных линий обнаруживаются только при наблюдениях с высоким временным разрешением. Аналогичная ситуация только с вариациями блеска наблюдается у хромосферноактивного гиганта V390 Aur в диапазоне частот 0.1...10 Гц [6]. Похоже, что наблюдаемые закономерности переменности могут быть связаны с ансамблем микровспышек продолжительностью начиная от десятых долей секунды до десятков секунд. Грубая оценка «типичной» микровспышки на V390 Aur дает следующую картину: микровспышка имеет максимальную амплитуду 0.005^m , частота появления вспышек 0.15 с^{-1} и продолжительность порядка 4 с. Оценки характеристик микровспышек у хромосферноактивной карликовой звезды 61 Cyg A, полученные в рамках модели дробового шума, близки к оценкам микровспышечной активности V390 Aur. Отметим, что наблюдаемые вариации в хромосферноактивных звездах связывают с микровспышками, основным источником нагрева корон этих звезд.

1. Кобринский Н. Е. Информационные фильтры в экономике. — М.: Статистика, 1978.—287 с.
2. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника. — М.: Радио и связь, 1982.—624 с.
3. Hemoelmann A., Robrade J., Schmitt J. H. M. M., et al. Coronal activity cycles in 61 Cygni // *Astron. and Astrophys.*—2006.—**460**.—P. 261—267.
4. Korn G. A., Korn T. M. *Mathematical Handbook*. — New York: McGraw-Hill Book Company, 1968.—832 p.
5. Zhilyaev B. E., Sergeev A. V., Andreev M. V., et al. Slitless spectrograph for small telescopes: first results // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*.—2013.—**29**, N 3.—P. 120—130.
6. Zhilyaev B. E., Verlyuk I. A., Andreev M. V., et al. Observations of high-frequency variability in the chromospherically active star V390 Aurigae // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—2013.—**436**, N 3.—P. 1986—1992.

Статья поступила в редакцию 15.05.15