

СТОХАСТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МИКРОКВАЗАРА ХТЕ J1550-564

© В.М.Залялиева, С.А.Дёмин, Р.М.Юльметьев

С помощью формализма функций памяти исследована экви- и неэквидистантная динамика полного потока рентгеновского излучения микроквара ХТЕ J1550-564. Показано, что анализ наблюдаемых серий неэквидистантных по времени позволяет извлечь более детальную информацию о свойствах сложных систем. Развиваемый метод полезен при анализе временных и событийных корреляций в экви- и неэквидистантных дискретных сериях сейсмических, астрофизических, а также биологических и социальных систем.

Ключевые слова: рентгеновское излучение, микрокварз ХТЕ J1550-564, экви- и неэквидистантные временные серии

1. Введение

Физика сложных систем – это одно из наиболее перспективных и быстроразвивающихся направлений в современной физике. Существует множество методов, эффективно применяющихся для анализа эквидистантных временных серий, т.е. экспериментальных серий с постоянным шагом регистрации сигнала. Однако на практике в силу различных причин регистрация сигнала зачастую осуществляется с переменным шагом. С целью устранения неэквидистантности в регистрации временных серий часто прибегают к их усреднению. Эта процедура зачастую приводит к потере части информации о дискретной временной эволюции сложных систем. Это обстоятельство обуславливает необходимость создания новых статистических методов, позволяющих осуществлять анализ временных неэквидистантных серий.

В данной работе представлен оригинальный статистический метод анализа эффектов статистической памяти в неэквидистантных временных сериях сложных систем. Суть метода состоит в переходе от анализа временных корреляций и флуктуаций, проявляющихся в усредненных временных сериях, к анализу событийных корреляций в неэквидистантных сигналах.

2. Информационные меры статистической памяти

Для количественного описания эффектов статистической памяти в стохастической динамике сложных систем негамильтоновой природы воспользуемся статистическими кванторами памяти $\varepsilon_i \nu$, $\delta_i \nu$. Первая информационная мера для случая эквидистантных временных серий впервые была предложена в работах [1, 2]. Этот статистический квантор памяти позволяет выполнить сравнение и сопоставление времен релакса-

ции исходной корреляционной функций и функций памяти. Позднее в работе [3] было представлено обобщение данной информационной меры памяти на случай неэквидистантных временных

серий: $\varepsilon_i \nu = \left\{ \frac{\mu_{i-1} \nu}{\mu_i \nu} \right\}^{\frac{1}{2}}$. Здесь $\mu_i \nu$ – частотный спектр мощности СФП i -го порядка $M_i n$:

$$\mu_i \nu = \left| \Delta n \sum_{n=1}^N M_i n \cos 2\pi n \nu \right|^2.$$

Вторая информационная мера была введена первоначально в работе [4] на случай эквидистантных временных серий и обобщена в работе [3] для случая неэквидистантных временных серий:

$$\delta_i \nu = \left| \frac{\tilde{M}_i \nu}{\tilde{M}_{i+1} \nu} \right|. \text{ Здесь } \tilde{M}_i \nu = \frac{d\tilde{M}_i \nu}{d\nu},$$

где $\tilde{M}_i \nu$ – Фурье-образ соответствующей событийной функции памяти $M_i n$. Данная информационная мера позволяет выявить эффекты марковизации (или демарковизации) в произвольном релаксационном процессе.

С помощью информационных мер памяти ε , δ релаксационные процессы условно можно разделить на три класса:

(1) немарковские процессы, в динамике которых проявляется долговременная (сильная) статистическая память, $\varepsilon, \delta \approx 1$;

(2) квазимарковские процессы с умеренной статистической памятью, $\varepsilon, \delta > 1$;

(3) марковские процессы, отличающиеся кратковременной (слабой) статистической памятью, $\varepsilon, \delta \gg 1$.

3. Экспериментальные данные

Экспериментальные данные представляют собой показатели динамики полного потока рентгеновского излучения микроквазара XTE J1550-564. Регистрация рентгеновского излучения осуществлялась обзорной камерой ASM (All-Sky Monitor), находящейся на околоземном космическом спутнике Rossi X-Ray Timing Explorer (RXTE). База данных содержит экспонированные значения 90-секундных наблюдений полного потока рентгеновского излучения S ($1,5 \div 12$ кэВ), который представлен в виде собственных единиц ASM (ASM counts/s). $1 \text{ Crab} = 75 \text{ ASM counts/s}$, где Crab – полный поток Крабовидной туманности в диапазоне $2 \div 10$ кэВ. Регистрация полного потока рентгеновского излучения микроквазара XTE J1550-564 осуществлялась в период с 1 января 1996 года по 1 января 2006 года. Динамика полного рентгеновского потока представлена в виде дискретных временных рядов двух типов: временной ряд, усредненный по дням (эквилидистантная серия – I тип данных), исходная запись сигнала с переменным шагом дискретизации (неэквилидистантная серия – II тип данных).

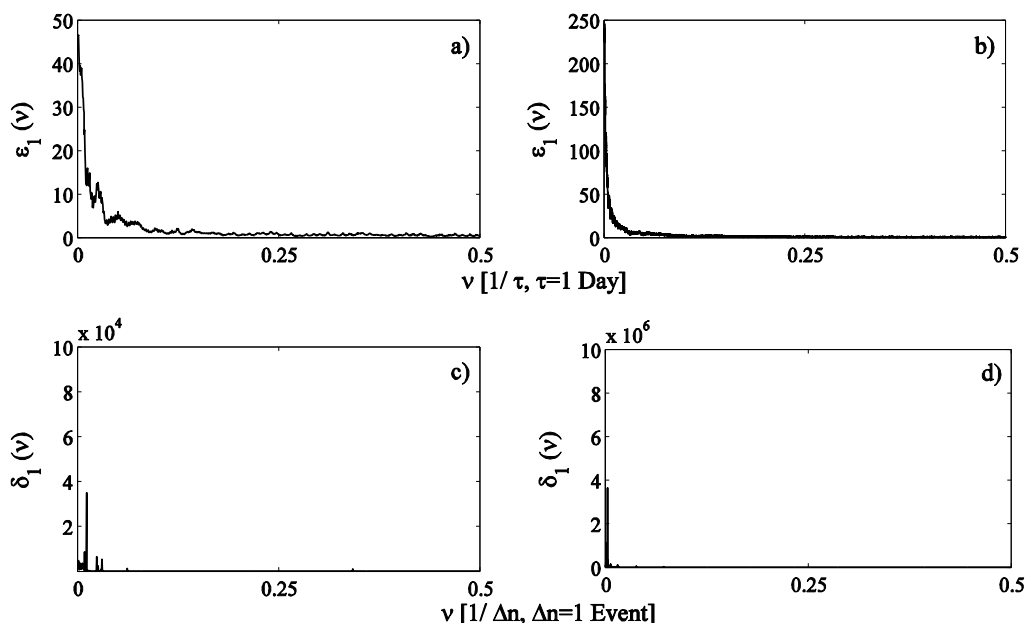
Для примера построена и представлена частотная зависимость информационных мер памяти для двух типов экспериментальных данных для микроквазара XTE J1550-564. Рентгеновская новая XTE J1550-564, расстояние до которой составляет 5,3 кпк [5], открыта 7 сентября 1998 года при помощи обзорной камерой ASM спутника RXTE. Наиболее вероятным оптическим компонентом источника считается звезда блеска $V = 16^m, 7 \pm 0^m, 1$ с широкими и яркими эмиссионными линиями (Ha, Hb, He II) [5]. Масса этой звезды приблизительно равна массе солнца, а масса компактного объекта оценивается в $9,4 M_{\odot}$ [6]. В сентябре 1998 года у источника впервые были обнаружены высокочастотные квазипериодические осцилляции (QPO) с центральной частотой 271 ± 2 мГц и шириной на полувысоте 30 ± 5 мГц [7]. В период с 4 по 5 марта 1999 г. наблюдалось увеличение потока в мягкой области ($2 \div 20$ кэВ), а также ужесточение степенной компоненты спектра и очередное появление высокочастотных квазипериодических осцилляций [8]. Весной 2003 года во время программы обзора галактической плоскости, проводимой спутником INTEGRAL, была зарегистрирована еще

одна вспышка рентгеновской активности, но на этот раз в жесткой части спектра (> 20 кэВ) [9]. Во время этой вспышки объект находился в низком жестком состоянии [10].

4. Временные и пространственные особенности рентгеновского излучения микроквазара XTE J1550-564

Мы сравнили результаты обработки эквидистантной и неэквилидистантной серий для объекта XTE J1550-564 и обнаружили изменение значений $\varepsilon_1 0$ и $\delta_1 0$ в несколько раз при переходе от одной серии к другой. Подобная информационная неравноценность этих двух типов серий объясняется тем, что при усреднении экспериментальных данных неизбежно теряется часть важной информации о хаотическом поведении сложной системы. В этом смысле неэквилидистантная временная серия является более полной и более информативной. Отсюда следует, что при описании временной эволюции объектов второй и третьей группы предпочтительно использовать информацию, полученную при анализе неэквилидистантных экспериментальных серий. В связи с этим, можно заключить, что наш метод анализа неэквилидистантных временных серий имеет неоспоримое преимущество перед другими статистическими методами анализа временных серий, которые возможно использовать только при наличии фиксированного шага дискретизации в экспериментальной серии.

На рисунке представлена частотная зависимость первой и второй информационных мер памяти $\varepsilon_1 \nu$ и $\delta_1 0$ для эквидистантной (рис.а и с) и неэквилидистантной (рис.б и d) временных серий полного потока рентгеновского излучения XTE J1550-564. На графиках заметно ослабление статистической памяти при переходе от эквидистантной серии к неэквилидистантной. Фактически, обнаруживается отчетливый переход от квазимарковского сценария ($\varepsilon_1 0 = 45,69$, $\delta_1 0 = 2502,3$) к марковскому ($\varepsilon_1 0 = 219,83$, $\delta_1 0 = 48483$) при переходе от данных первого типа ко второму. Таким образом, усреднение экспериментальных данных приводит к усилению статистической памяти и робастных компонент.



Заклучение

В представленной работе развит оригинальный статистический метод количественной оценки эффектов статистической памяти, проявляющейся в экви- и неэквидистантных временных сериях сложных систем. Одно из преимуществ метода является его применимость к анализу как эквидистантных временных серий, так и неэквидистантных временных серий сигналов сложных систем разнообразной природы. В качестве примера развиваемый метод был использован для анализа экви- и неэквидистантных дискретных временных серий полного потока рентгеновского излучения микрокваразара XTE J1550-564. Показано, что представленный метод имеет преимущество перед другими методами анализа временных серий в случае неэквидистантных временных серий. Полученные результаты в целом убедительно свидетельствуют в пользу применения развиваемого метода для анализа неэквидистантных временных серий сигналов астрофизических, сейсмических объек-

тов, социальных, экономических процессов и экологических систем.

1. Yulmetyev R.M., Hänggi P., Gafarov F.M. // Phys. Rev. E. – 2000. – Vol.65. – P.6178.
2. Yulmetyev R.M., Hänggi P., Gafarov F.M. // Phys. Rev. E. – 2002. – Vol.65. – P.046107-1-15.
3. Yulmetyev R.M., Demin S.A., Panischev O.Yu. et al. // Nonlinear Phenomena in Complex Systems. – 2006. – Vol.9. – P.313.
4. Mokshin A.V., Yulmetyev R.M., Hänggi P. // Phys. Rev. Lett. – 2005. – Vol.95. – P.200601 – 1.
5. Orosz J.A. et al. // The Astrophysical Journal. – 2002. – Vol.568. – P.845.
6. Castro-Tirado A.J., Duerbeck H.W., Hook I. // IAU Circ, 1999. – P.7013.
7. Finger M.H., Dieters S.W., Wilson R.B. // IAU Circ, 1998. – P.7010.
8. Homan J., Wijnands R., Van Der Klis M. // IAU Circ, 1999. – P.7121.
9. Dubath P. et al. // IAU Circ, 2003. – P.8100.
10. Sturmer S.J., Shrader C.R. // IAU Circ, 2003. – P.8100.

STOCHASTIC PECULIARITIES SINGULARITIES IN X-RAY EMISSIONS OF THE MICROQUASAR XTE J1550-564

V.M.Zalyalieva, S.A.Demin, **R.M.Yulmetyev**

We analyze the equidistant and non-equidistant dynamics of the total X-ray flux of the microquasar XTE J1550-564 by the method of memory functions. The analysis of non-equidistant discrete series gives more detailed information about peculiarities of the complex systems. Our method is very useful for the analysis of event and time correlations in equidistant and non-equidistant discrete series of seismic and astrophysical objects, biological and social systems.

Key words: X-ray flux, microquasar XTE J1550-564, equidistant and non-equidistant dynamics

* * * * *

Залялиева Венера Мингазовна – аспирант кафедры теоретической физики Татарского государственного гуманитарно-педагогического университета

Дёмин Сергей Анатольевич – старший преподаватель кафедры теоретической физики Татарского государственного гуманитарно-педагогического университета

Юльметьев Ренат Музипович – доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой теоретической физики Татарского государственного гуманитарно-педагогического университета

E-mail: ff@tggpu.ru