

Статистическое исследование гамма-всплесков

Тараканов Петр Александрович, кандидат физико-математических наук, доцент
Санкт-Петербургский государственный университет

На основе данных мониторинга гамма-всплесков, проводившегося в рамках эксперимента BATSE, получены фрактальные размерности для распределения их источников на небесной сфере. Исследована фрактальная размерность распределений подклассов гамма-всплесков, выделяемых в рамках различных классификаций. Показано, что не существует класса всплесков, выделяемого на диаграмме (T_{90} , HR), фрактальная размерность для которого статистически значимо отклонялась бы от значения, соответствующего однородному распределению.

1. Введение

В 1991-2000 годах был проведен эксперимент BATSE, основной целью которого было изучение такого явления, как всплески гамма-излучения. За время работы BATSE было зарегистрировано 2704 гамма-всплеска [5].

До сих пор существует неопределенность, что за объекты порождают гамма-всплески, и что случается в начальных стадиях взрывов. За прошедшее время было создано множество различных моделей происхождения гамма-всплесков, связывающих всплески с различными «обычными» объектами. В качестве теста некоторой модели можно взять пространственное распределение возможных «прародителей» гамма-всплесков. Они характеризуются фрактальной размерностью. Распределение соответствующих всплесков должно иметь ту же размерность [2]. Также величина фрактальной размерности распределения для всплесков какого-либо класса может служить критерием для отбора кандидатов в «прародители» или, наоборот, давать информацию о распределении «прародителей».

Поскольку имеется множество разнообразных классификаций гамма-всплесков, представляется интересным рассмотреть некоторые из них и получить значения фрактальных размерностей для выделяемых классов. Для изучения данного вопроса выбрано три типа классификаций – классификация по длительности T_{90} , где T_{90} – время, за которое высвечивается 90% энергии всплеска; двумерная классификация по длительности T_{90} и жесткости спектра HR (отношению зарегистрированных потоков в 3-м и 2-м энергетических каналах BATSE) и эмпирические классификации.

Для исследования классификаций данные о гамма-всплесках берутся из последнего каталога BATSE (BATSE5).

2. Фрактальная размерность

Определение локальной фрактальной размерности производилось следующим образом [2]. Вокруг каждого гамма-всплеска описывалось несколько концентрических окружностей с постоянным шагом по угловому радиусу. Фрактальная размерность распределения определяется из условия

$$N(S) \propto r^D,$$

где $N(S)$ – число гамма-всплесков, попавших в окружность S радиуса r , а D – локальная фрактальная размерность. Итоговая фрактальная размерность находилась путем усреднения полученных локальных фрактальных размерностей методом наименьших квадратов. Для однородного распределения на сфере $D=2$, в случае фрактального распределения $D < 2$.

Кроме описанного выше метода «кругов» был использован также метод «долек». Вокруг меридиана, проходящего через точку всплеска, с некоторым шагом по ширине строилась система «долек». Для каждой «дольки» подсчитывалось число гамма-всплесков, попавших в нее. Тогда для данной сторожевой точки значение показателя фрактальности D_i можно получить так:

$$D_i = \frac{\ln N(r)}{\ln r}$$

где $N(r)$ – число всплесков, попавших в «дольку» ширины r . Однородному пространственному распределению соответствует $D_i=1$.

В расчетах учитывалось 2704 гамма-всплеска. Определение показателей фрактальности пошло для точек небесного и галактического экватора, а так же для всей сферы в целом (для модели «кругов»). Полученные значения локальных показателей фрактальности усреднялись методом наименьших квадратов. Расчеты для всех гамма-всплесков дают их приблизительно равномерное распределение по небесной сфере.

При расчете не учитывались погрешности, возникающие за счет селективности данных BATSE по склонению. Так же стоит упомянуть о существовании сильных флуктуаций числа всплесков на единицу площади.

3. Классификации по длительности (T_{90})

Было предложено две различных классификации по параметру T_{90} [1].

Согласно первой из них все гамма-всплески делятся на два класса. В первый класс попадают «длинные» всплески с $T_{90} > 2$ с. В среднем, представители первого класса имеют мягкий спектр и более высокую энергетику. Второй класс представляет собой «короткие» всплески с $T_{90} < 2$ с. В среднем это всплески с низкой энергией и более жестким спектром. Необходимые для проведения данной классификации данные в каталоге BATSE имеются у 1954 событий. В первый класс вошли 1488 всплесков, а во второй – 466.

Вторая классификация подразумевает деление всех гамма-всплесков на три класса различных объектов. В первый класс попадают длинные всплески с $T_{90} > 8$ с. Как правило, это также события с высокой энергетикой и мягким спектром. Второй класс состоит из коротких в среднем жестких и низкоэнергетичных всплесков с $T_{90} < 2$ с. В третий класс входят все объекты с промежуточным значением T_{90} : $2 < T_{90} < 8$ с. В среднем, это события с мягким спектром и с невысокой энергией. В табл.1 приведена сравнительная характеристика двух рассматриваемых классификаций.

Таблица 1. Характеристика классификаций по параметру T_{90}

Классификация	Класс 1	Класс 2	Класс 3
Двухклассовая	466	1488	-
Трехклассовая	466	237	1251

Для обеих классификаций были проведены расчеты фрактальной размерности классов по модели «кругов». Полученные результаты приведены в табл.2.

Таблица 2. Результаты расчетов для временных классификаций

Классификация	Класс 1	Класс 2	Класс 3
Двухклассовая	$2,09 \pm 0,24$	$2,01 \pm 0,26$	-
Трехклассовая	$2,09 \pm 0,24$	$2,02 \pm 0,26$	$2,14 \pm 0,25$

4. Двумерные классификация

Этот тип классификаций основан на распределении гамма-всплесков на диаграмме (T_{90} , HR). Под жесткостью спектра понимается отношение потока в канале 3 (100-300 кэВ) к потоку в канале 2 (5-100 кэВ) инструмента BATSE.

Был предложен критерий разделения классических гамма-всплесков на два класса на основе занимаемого ими положения на диаграмме (T_{90} -HR) [3]. Если мы построим данную диаграмму в логарифмических шкалах, то гамма-всплески сформируют две хорошо отделяемых группы. Назовем правую нижнюю группу классом 1, а верхнюю левую группу - классом 2. На диаграмме (\lg HR, $\lg T_{90}$) наилучшее разделение этих двух классов дает прямая линия

$$HR=2(T_{90})^{1/2}$$

Объекты первого класса представляют собой в среднем более длинные и мягкие по спектру всплески, тогда как представители второго класса – в среднем короткие и жесткие всплески. Согласно данным каталога BATSE в первый класс попадает 1423 всплеска, а во второй – 531 всплеск.

Были проведены расчеты показателей фрактальности для каждого из классов по модели кругов. Полученные результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты расчетов для двумерной классификации

Класс	Кол-во всплесков	Показатель
Класс 1	1423	$2,14 \pm 0,25$
Класс 2	531	$2,00 \pm 0,26$

5. Эмпирические классификации

Последней из рассмотренных классификаций является классификация, представленная в работе [4]. При исследовании трех классов гамма-всплесков – «длинных», «коротких» и «средних» – при помощи некоторого алгоритма был выведен набор правил, описывающих эти три класса. При разработке правил использовались следующие параметры гамма-всплесков – время T_{90} ,

жесткость спектра HR (как отношение потока в третьем канале к потоку во втором канале инструмента BATSE) и потоки в третьем (S3) и четвертом (S4) энергетических каналах BATSE. В данной работе было рассмотрено 6 правил: 3 описания класса коротких всплесков, 2 описания – средних и одно описание длинных всплесков. Для всех этих подклассов были проведены расчеты фрактальных размерностей. В качестве расчетной модели была принята модель кругов. Полученные значения показателей фрактальности приведены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты расчетов для эмпирической классификации

Класс	Кол-во всплесков	Показатель
1.1.	403	$2,09 \pm 0,23$
1.2.	376	$2,07 \pm 0,25$
1.3.	170	$1,99 \pm 0,23$
2.1.	1129	$2,14 \pm 0,25$
2.2.	965	$2,13 \pm 0,25$
3.	1265	$2,14 \pm 0,25$

6. Обратная задача

Была рассмотрена также обратная задача – выделение класса гамма-всплесков, распределение которых имеет фрактальную размерность, отличную от 2. При этом рассматривались критерии вида $F(HR) < G(T_{90})$, где F, G – некоторые достаточно простые функции. Выделить класс всплесков, для которого распределение источников отклонялось бы от однородного, не удалось.

7. Выводы

Показано, что:

1. Распределения рассмотренных классов гамма-всплесков по небесной сфере однородны ($D=2$).
2. Класса гамма-всплесков, выделяющегося посредством признака вида $F(HR) < G(T_{90})$, где F и G – достаточно простые функции, и имеющего фрактальную размерность, отличную от 2, по-видимому, не существует.

Литература:

1. Литвин В.Ф. и др., Письма в Астрономический журнал, т. 27, с. 489, 2001.
2. Тараканов П.А., Астрофизика, т. 42, с. 219, 1999.
3. Belli V.M., Astrophysical Journal Letters, v. 479, p. L31, 1997.
4. Hakkila J. et al., Astrophysical Journal, v. 538, p. 165, 2001.
5. Kaneko Y. et al, Astrophysical Journal Supplement Series, v. 166, p. 298, 2006.