

УДК 547.7

## Переменные источники в активных ядрах галактик

*В.А. Гаген-Торн<sup>1</sup>, В.М. Ларионов<sup>1</sup>, Е.И. Гаген-Торн<sup>1,2</sup>, А.А. Архаров<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Астрономический институт Санкт-Петербургского университета, Россия

<sup>2</sup> Главная Астрономическая обсерватория РАН, Россия

Поступила в редакцию 9 февраля 2006 г.

**Аннотация.** Описывается метод определения фундаментальных характеристик (распределения энергии в спектре и поляризационных параметров) переменных источников, ответственных за ядерную активность, по данным о фотометрической и поляризационной переменности. Большим преимуществом метода является то, что результаты получаются без предварительного определения вклада переменного источника в суммарное наблюдаемое излучение. Даются некоторые результаты применения метода к исследованию блазаров.

VARIABLE SOURCES IN ACTIVE GALACTIC NUCLEI, *by V.A. Hagen-Thorn, V.M. Larionov, E.I. Hagen-Thorn, A.A. Arkharov.* The technique of determination of the fundamental parameters (spectral energy distribution and polarization parameters) of variable sources, responsible for activity of galactic nuclei, is described. This technique is based on the data of photometric and polarimetric variability. The main advantage of this technique is that it does not use preliminary knowledge of the variable source contribution to the observed total radiation. Some examples of application of this method to the blazars studies are given.

**Ключевые слова:** галактики, активные ядра, фотометрия, поляриметрия, переменность

---

## 1 Введение

Фотометрическая и поляризационная переменность – одно из наиболее важных проявлений ядерной активности. Источники, ответственные за оптическую переменность, расположены в непосредственной близости от “центральной машины”, и выяснение их природы может дать ключ к решению проблемы ядерной активности в целом. К сожалению, эти источники в оптике не разрешаются, и их поток не наблюдается непосредственно – в наблюдаемое излучение вносят вклад подстилающая галактика, неразрешенный аккреционный диск, а также другие источники непрерывного и линейчатого излучения. Выделение излучения переменного источника – непростая задача, поскольку потоки других “вкладчиков” нельзя оценить непосредственно. При моделировании активности ключевым моментом является знание распределения энергии в спектре и поляризационных характеристик переменного компонента и их эволюции. Неправильный учет вклада других компонентов ведет к неправильным заключениям о поведении переменного источника. Поэтому очень важно получить информацию о распределении энергии и параметрах поляризации переменного источника прямо из наблюдений, *до внесения поправок за излучение других компонентов.* Здесь мы рассматриваем одну такую возможность. Мы показываем как

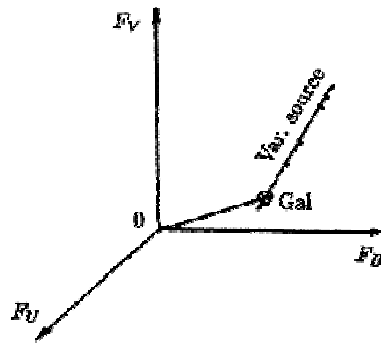


Рис. 1. Фотометрическое поведение в трехмерном пространстве

информация о параметрах поляризации и распределении энергии в спектре переменного источника (и их развитие во времени) могут быть получены из поляриметрических и многоцветных фотометрических наблюдений переменности *без предварительного определения его вклада в суммарное наблюдаемое излучение.*

## 2 Метод

Идея анализа поляриметрических и фотометрических данных одна и та же. Для поляриметрии предлагаемый здесь метод был применен впервые Гаген-Торном (1980). Для фотометрии он был предложен Холоневским (1981) и развит В.А. Гаген-Торном (1985, 1997). Все детали изложены в работе Гаген-Торна и Марченко (1999). Пусть переменность в пределах некоторого временного интервала обусловлена единственным переменным источником. Если переменность вызвана только изменением его потока, а относительные параметры Стокса  $q$  и  $u$  (для поляриметрии) или относительное распределение энергии в спектре (для фотометрии) остаются неизменными, то в пространстве абсолютных параметров Стокса  $\{I, Q, U\}$  или в  $n$ -мерном пространстве потоков  $\{F_1, \dots, F_n\}$  ( $n$  – число спектральных полос, использованных при многоцветных наблюдениях) точки, представляющие результаты наблюдений, должны лежать на “прямой линии”, направляющие тангенсы которой суть относительные параметры Стокса переменного источника (для поляриметрии) или отношения потоков в разных полосах, определяемые распределением энергии в его спектре (для фотометрии). На рис. 1 представлен трехмерный случай.

С небольшими оговорками обратное утверждение тоже верно: если представляющие наблюдения точки лежат в этих пространствах на прямой линии, то относительные параметры Стокса или относительное распределение энергии переменного компонента *остаются неизменными*, а направляющие тангенсы линии дают параметры  $q$  и  $u$  или отношения потоков (т.е. относительное распределение энергии) для переменного источника.

Таким образом, изучение поведения в пространстве потоков позволяет ответить на вопрос, является ли относительное распределение энергии переменного источника, ответственного за фотометрическую переменность на рассматриваемом интервале времени неизменным, и если “да”, то найти это распределение без предварительного исправления за вклад постоянного компонента. То же самое можно сказать и о параметрах Стокса. Это исключает все возможные ошибки, связанные с неправильным учетом вклада постоянного компонента.

Поскольку в случае фотометрии все проекции на плоскости  $\{F_i, F_j\}$  представляют собой прямые с наклоном  $(F_j/F_i)_{var}$ , на практике потоки сравниваются попарно, причем одна из полос выбирается в качестве основной. В случае поляриметрии можно рассматривать плоскости  $\{I, Q\}$  и  $\{I, U\}$ .

Рассмотрим плоскость  $\{F_i, F_j\}$  (рис. 2). Здесь точки, лежащие на прямой, представляют результаты наблюдений. В нашей интерпретации наклон прямой дает  $(F_j/F_i)_{var}$  и точка,

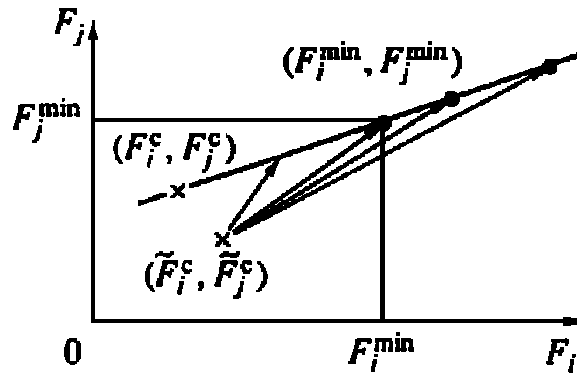


Рис. 2. Поведение на плоскости  $\{F_i, F_j\}$

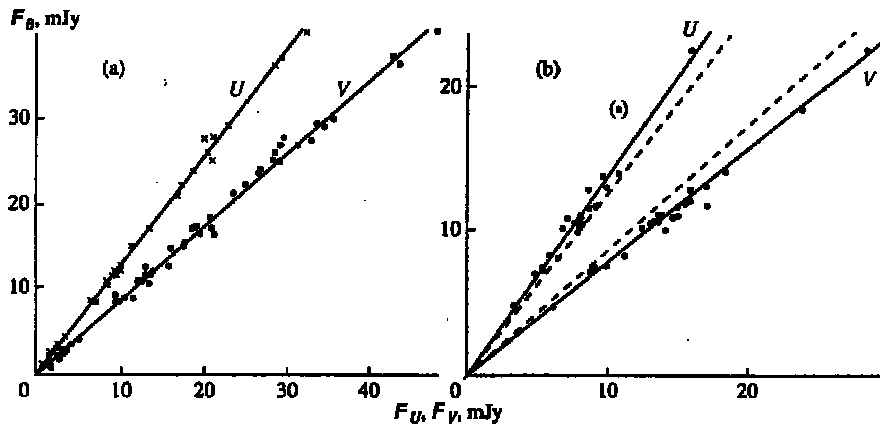


Рис. 3. Поведение OJ 287 на двух временных интервалах: (а) 1972-76 и (б) 1983-84

соответствующая постоянному компоненту  $(F_i^c, F_j^c)$ , расположена где-то на прямой линии ближе к началу координат.

Если бы мы использовали при предварительной коррекции наблюдаемых потоков неверные данные для постоянного компонента  $(F_i^c, F_j^c)$ , то мы сделали бы неверное заключение о переменности распределения энергии в спектре переменного источника (векторы с переменным наклоном из точки  $(\tilde{F}_i^c, \tilde{F}_j^c)$  к точкам, представляющим наблюдения).

С другой стороны, если считать, что точка  $(\tilde{F}_i^c, \tilde{F}_j^c)$  отвечает правильному значению постоянного компонента, тогда для приведения наблюдаемых точек на прямую линию между потоком переменного компонента и его цветом должна существовать зависимость, которую трудно (если не невозможно) обосновать физически. Это заставляет нас принять, что распределение энергии в спектре переменного источника не меняется.

Рассмотрим теперь два примера, иллюстрирующих чувствительность метода. Рис. 3 дает диаграммы “поток-поток” для блазара OJ 287 для двух интервалов времени, когда у него наблюдались вспышки: 1972-76 и 1983-84 годы. В обоих случаях представляющие наблюдения точки лежат на прямых линиях (т. е. распределение энергии в каждом из событий оставалось неизменным), но наклоны прямых различны (пунктирные линии на правом рисунке взяты с левого). Различия в показателях цвета переменного компонента составляют около  $0^m10$ . На рис. 4 дается диаграмма “поток-поток” для блазара S5 0716+714 (точки представляют результаты наших

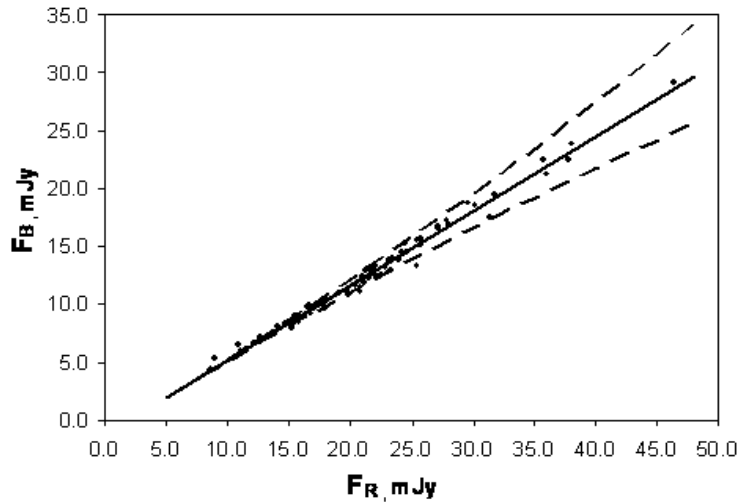


Рис. 4. Данные для S5 0716+714

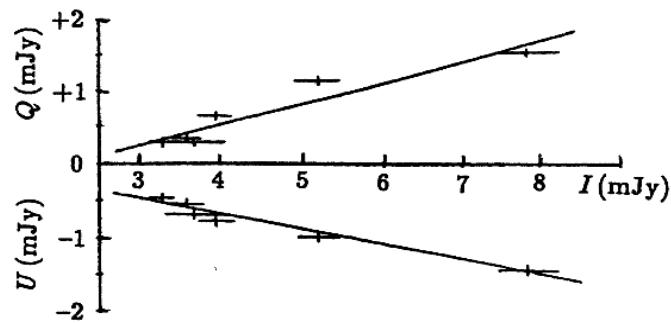


Рис. 5. OJ 287: сопоставление абсолютных параметров Стокса в поляризационной вспышке в интервале JD 2445782-794

наблюдений 2001-2004 годов, подготавливаемые к публикации). Точки лежат на прямой достаточно хорошо. Кривые показывают, как изменилась бы картина, если бы показатель цвета переменного источника  $B - R$  систематически изменялся в ту или иную сторону на  $0^m03$  на каждые 8 мЯн потока (весь интервал изменения показателя цвета соответствует наблюдаемому). Уклонение от прямой линии хорошо видно.

### 3 Примеры использования метода

Результаты анализа цветовой и поляризационной переменности ряда активных галактических ядер, полученные с помощью этого метода, опубликованы в ряде работ В.А. Гаген-Торна с соавторами. Здесь мы дадим несколько примеров. На рис. 5 сопоставлены абсолютные параметры Стокса для поляризационной вспышки OJ 287 в период JD 2445782-794. Ясно, что в пределах этого временного интервала относительные параметры Стокса переменного источника не менялись. Степень поляризации его излучения составляла около 35%.

На рис. 6 даются диаграммы “поток-поток” для блазара S5 0716+714 по нашим данным за 2001-2004 гг. Точки очень хорошо лежат на прямых линиях. Это позволяет заключить, что относительное

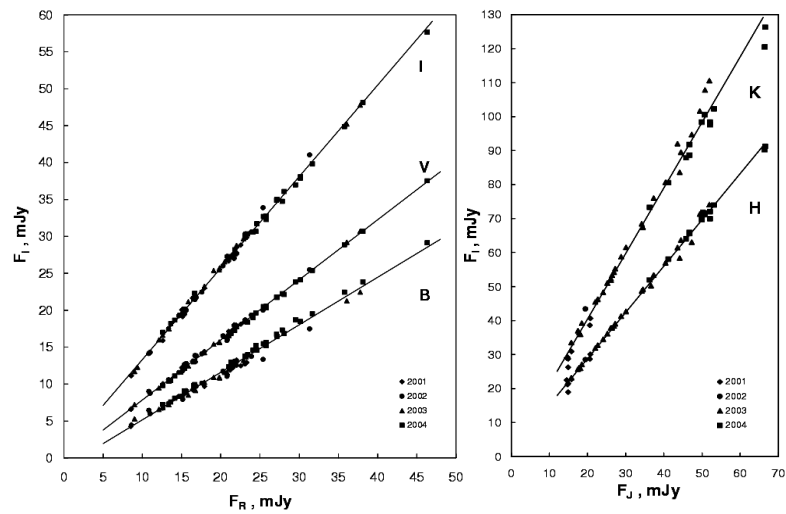


Рис. 6. Диаграммы “поток-поток” для блазара S5 0716+714 по данным 2001-2004 гг

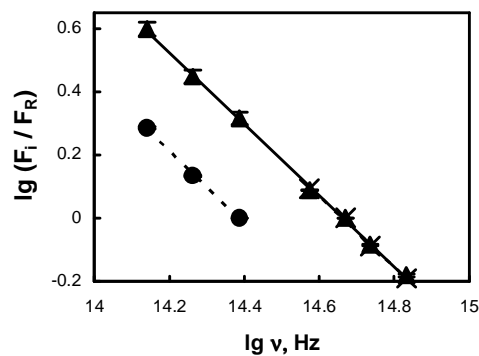


Рис. 7. Относительное распределение энергии в спектре переменного источника у блазара S5 0716+714

распределение энергии в спектре переменного источника оставалось постоянным как в оптической, так и в ближней ИК областях спектра.

Результаты определения относительного распределения энергии в спектре объекта представлены на рис. 7. Здесь пунктиром нанесены распределения, полученные по данным рис. 6 отдельно для оптической (крестики) и ИК (точки) областей спектра. Треугольники и сплошная линия представляют “сшитое” распределение, построенное с учетом зависимости “поток-поток” для полос  $R$  и  $J$ . Все точки лежат на прямых линиях, которые проведены способом наименьших квадратов. Возможность объединения оптического и ИК спектров без скачка и излома говорит о том, что в оптической и ближней ИК областях спектра действует один и тот же переменный источник. Степенной характер спектра служит указанием на его синхротронную природу.

В отдельные ночи нами была зафиксирована сверхбыстрая переменность (IDV) блазара S5 0716+714. Диаграммы “поток-поток” для этих ночей приведены на рис. 8, прямые на котором перенесены с рис. 6. Видно, что цветовые характеристики источника IDV не отличаются от таковых для медленно меняющегося компонента. В этом случае сверхбыструю переменность можно рассматривать как флуктуации потока медленно меняющегося компонента, а не как указание на присутствие отдельного переменного источника.

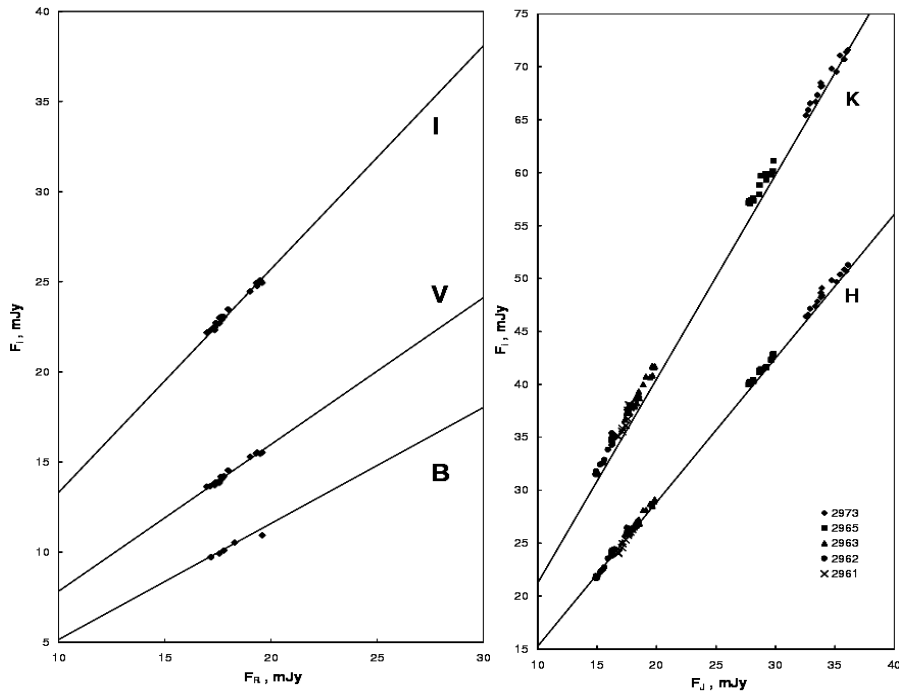


Рис. 8. Цветовые характеристики источника сверхбыстрой переменности у S5 0716+714

#### 4 Заключение

Основные результаты наших исследований можно сформулировать следующим образом:

- Во многих случаях фотометрическое поведение активных галактических ядер на разных временных шкалах и в разных спектральных интервалах может быть объяснено присутствием единственного переменного источника с изменяющимся потоком, но неизменным относительным распределением энергии в спектре. В частности, это относится к поведению во вспышках. Как правило, форма спектра одна и та же с самого начала и до окончания каждого события.
- Спектральные распределения энергии хорошо представляются спектром однородного синхротронного источника с высокочастотной отсечкой или без таковой. Иногда на самой вершине кривой блеска во вспышке может существовать синхротронное самопоглощение.
- Неизменность спектрального распределения энергии исключает все механизмы переменности, приводящие к изменению формы спектра (например, падение блеска из-за синхротронных потерь). Наблюдаемое поведение можно ожидать, если изменения потока обусловлены изменением количества релятивистских электронов в источнике или направления движения источника по отношению к лучу зрения.
- Поляризационное поведение определяется единственным переменным источником довольно редко; но если это имеет место, то степень поляризации излучения источника может достигать 50%, указывая на его синхротронную природу.
- В единственном исследованном нами случае (блазар S5 0716+714) распределение энергии у источника сверхбыстрой переменности оказалось таким же, как у источника, ответственного за переменность на длинной временной шкале. Можно думать, что переменный источник на самом деле один, а сверхбыстрая переменность – не что иное как флуктуации его потока. (Этот вывод носит предварительный характер – необходимы дальнейшие наблюдения.)

Работа была поддержана Российским Фондом Фундаментальных Исследований (грант 05-02-17562).

## Литература

- Гаген-Торн В.А. // A&SS. 1980. V. 73. P. 279.  
Гаген-Торн В.А. // Астрофизика. 1985. Т. 22. С. 449.  
Гаген-Торн В.А. // Письма в АЖ. 1997. Т. 23. С. 23.  
Гаген-Торн, Марченко (Hagen-Thorn V.A., Marchenko S.G.) // Baltic Astronomy. 1999. V. 8. p. 575.  
Холоневский (Choloniewski J.) // Acta Astron. 1981. V. 31. P. 293.