

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА И АСТРОФИЗИКА

УДК 52.56

ДВА ЦИКЛА АКТИВНОСТИ ЯДРА СЕЙФЕРТОВСКОЙ ГАЛАКТИКИ NGC 4151

В. М. Лютый

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга (Москва)

Анализируется кривая блеска ядра сейфертовской галактики NGC 4151 по фотографическим и фотоэлектрическим наблюдениям за 100 лет (1906 – 2008 гг.). Отмечаются два цикла активности, 1906 – 1983 и 1990 – 2008 гг., разделенные 5-летним минимумом (второй цикл ещё не закончился). В этих циклах активности действовали два разных аккреционных диска. Аккреционный диск второго цикла имел почти в два раза большие размеры и более высокую светимость.

Введение. Сейфертовская галактика (SyG) NGC 4151 является самой яркой из всех SyG с большой амплитудой переменности. К настоящему времени имеется большое количество наблюдений переменности её ядра, причем не только в оптическом диапазоне, но и в ИК-, УФ-, и рентгеновском диапазонах, а также наблюдений спектральной переменности. Поэтому NGC 4151 служит своеобразным тестом при исследованиях переменных источников в активных ядрах галактик (АЯГ).

Регулярные фотоэлектрические трехцветные (UBV) наблюдения переменности ядра NGC 4151 начались в 1968 г. (см. [1] и ссылки в этой работе), а 5-цветные (UBVRI) – с 1989г. [2; 3]. Архивные фотографические наблюдения переменности ядра NGC 4151 имеются с 1906 г. [4]. Таким образом, фотографические и фотоэлектрические наблюдения переменности ядра NGC 4151 охватывают интервал более 100 лет: 70 лет фотографических (1906 – 1975, полоса В) и более 40 лет (1968 – 2008) – фотоэлектрических (UBV и UBVRI).

В работе [1] было проведено сравнение двух циклов активности ядра NGC 4151 – 1968 – 1983 (цикл А) и 1990 – 1998 (цикл В) годов. Поскольку анализировались трехцветные (UBV) данные, сравнивались не только амплитудно-временные характеристики, но и цветовые. Был сделан вывод, что аккреционный диск вокруг сверхмассивной чёрной дыры (общепринятая в настоящее время модель АЯГ), действовавший в 1968 – 1983гг., полностью диссипировал во время глубокого минимума 1984 – 1989 гг. Затем стал формироваться новый аккреционный диск,

достигший максимума светимости в 1995 – 1996 гг. Показатели цвета обоих дисков оказались примерно одинаковыми, т.е. средняя температура диска цикла В не изменилась, но светимость увеличилась примерно вдвое, что однозначно указывает на увеличение размеров диска.

Одной из особенностей кривых блеска АЯГ является наличие двух компонент переменности [5] – медленной (годы или десятки лет) и быстрой (дни – десятки дней). По соотношению амплитуд медленной и быстрой компонент АЯГ можно разделить на три группы [5]. NGC 4151 относится ко второй группе – амплитуды компонент примерно одинаковы. Проанализировав переменность ядра NGC 4151 в оптическом и УФ диапазонах, автор [6] показал, что природа оптической и УФ переменности объекта тепловая, причём медленную компоненту можно связать с формированием аккреционного диска, а быструю – с нестабильностями в диске.

Кривая блеска. Кривая блеска ядра NGC 4151 за 100 лет в полосе В по фотографическим и фотоэлектрическим данным показана на рис. 1.

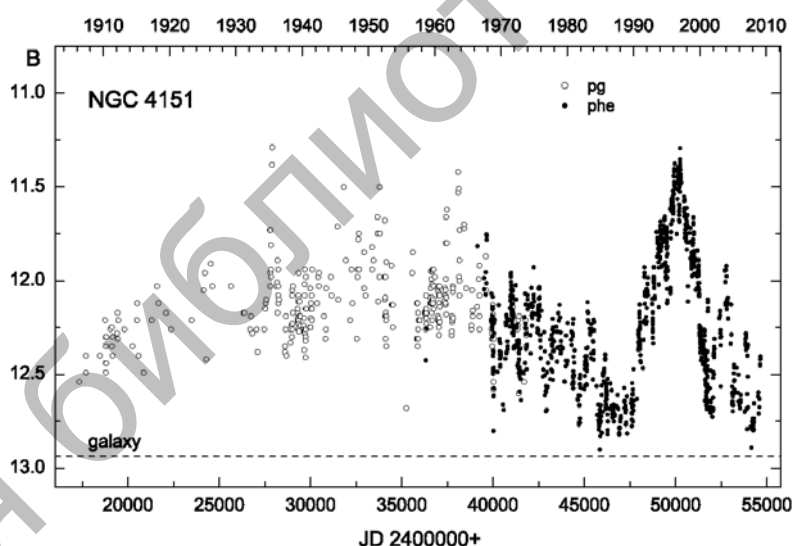


Рис. 1. Кривая блеска ядра NGC 4151: темные кружки – фотоэлектрические наблюдения, светлые – фотографические, штриховая линия внизу показывает уровень окружающей галактики.

Хорошо видны два цикла активности (1906 – 1983 и 1990 – 2008 гг.), разделенные 5-летним минимумом 1984 – 1989 гг. Цикл активности А, рассматривавшийся в [1], по-видимому, представляет собой окончание первого цикла активности (1906 – 1983), когда после основного максимума на спаде цикла появились квазипериодические

осцилляции с характерным временем 4 года. После основного максимума (1995 – 1996) второго цикла активности также появились аналогичные осцилляции. Циклы активности отличаются прежде всего по длительности. Первый цикл продолжался примерно 80 лет, второй длится уже около 20 лет. Если количество осцилляций после основного максимума второго цикла будет таким же, как в первом (5 – 6), то он продлится еще около десяти лет. Различие между формами кривых блеска первого и второго циклов активности особенно чётко видно на рис. 2, где представлены средние потоки переменного источника в ядре галактики после вычитания потока от галактической подложки. Фотографические данные осреднялись скользящим средним с интервалом 1000 дней и сдвигом на 500 дней, фотоэлектрические – с интервалом 500 и сдвигом на 250 дней.

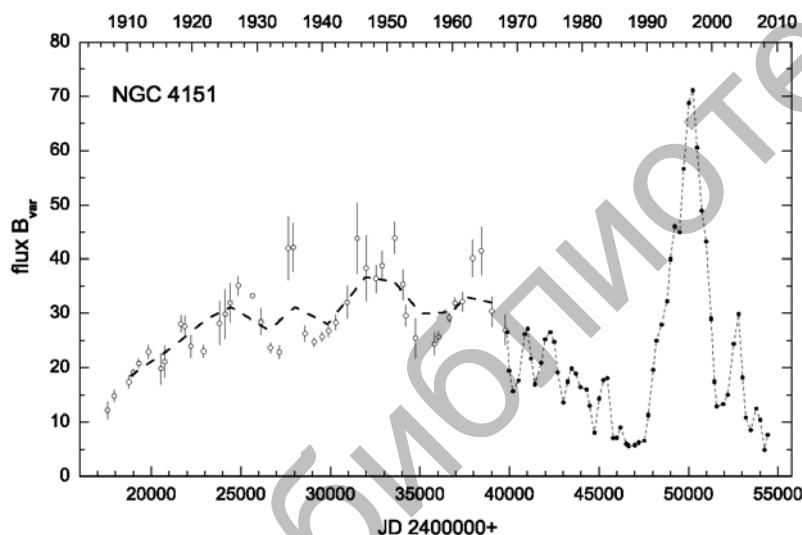


Рис. 2: Средний поток от переменного источника в ядре NGC 4151. Обозначения те же, что на рис. 1.

Хотя в первом цикле наблюдались вспышки примерно такой же амплитуды, как максимум второго цикла, в среднем амплитуда первого значительно ниже, особенно амплитуда медленной компоненты. Так, поток в максимуме медленной компоненты второго цикла (1996 – 1997) составил $F(B)_{var}=46$ мЯн (миллиардных), а в максимуме первого цикла (1930 – 1945) – 17 мЯн, почти в три раза меньше. Но при этом продолжительность максимума – 15 лет – оказалась в 7 раз больше.

Колебания потока в максимуме цикла – это прежде всего результат наблюдательной селекции: за 80 лет получено всего около 350 измерений, тогда как фотоэлектрических измерений в конце цикла – 360 за 15 лет, а во втором цикле активности – 660 за 18 лет. Сказалась также сильная неравномерность фотографических данных (см. рис. 1), поэтому сглаживание с интервалом 3000 дней (жирная штриховая линия на рис. 2) сильно уменьшает флуктуации. Фотоэлектрические данные распределены гораздо более равномерно.

Составная вспышка. Одним из основных параметров быстрой компоненты в АЯГ является так называемое характерное время переменности Δt – время подъема блеска на среднюю для данного объекта амплитуду [7]. Это время не зависит от амплитуды вспышки, но оно разное для разных объектов и коррелирует со светимостью ядра – увеличивается с увеличением светимости. Поскольку очень редко удаётся зарегистрировать вспышку полностью, анализируется “составная” вспышка, для получения которой все вспышки совмещаются по моменту максимума.

В работе [6] автор показал, что во втором цикле активности, когда сформировался новый аккреционный диск, характерное время переменности составляло $\Delta t = 26 - 28$ дней. Это время не зависит от амплитуды вспышки, но сильно зависит от длины волны, уменьшаясь от 28 дней в полосе V ($\lambda = 550$ нм) до 6 дней в УФ ($\lambda = 100$ нм) (см. рис. 8 в работе [6]).

Характерное время переменности Δt – это время распространения ударной волны по диску. Ударная волна возникает вследствие нестабильностей в центральной части аккреционного диска. Поскольку эффективные размеры диска увеличиваются с длиной волны излучения (видны более холодные области), Δt также увеличивается, но остается постоянным для данного аккреционного диска. Как уже отмечалось, во втором цикле активности (1990 – 2008 гг.) действовал новый аккреционный диск, что подтверждается также изменением характерного времени переменности. В конце первого цикла (1968 – 1976 гг.), согласно [7], это время составляло 10 – 11 дней, что согласуется и с меньшей светимостью диска.

На рис. 1 и 2 хорошо видно, что 1968 – 1983 гг. – это конец первого цикла активности. Если в этом 80-летнем цикле действовал один и тот же аккреционный диск, то характерное время переменности должно быть одинаковым на протяжении всего цикла. Хотя фотографических наблюдений немного, удалось выделить 8 вспышек быстрой компоненты, которые и были сведены в одну составную вспышку. По фотоэлектрическим наблюдениям в конце цикла (1968 – 1983 гг.) составная вспышка – результат совмещения двенадцати

отдельных вспышек. Эти составные вспышки первого цикла активности показаны на рис. 3.

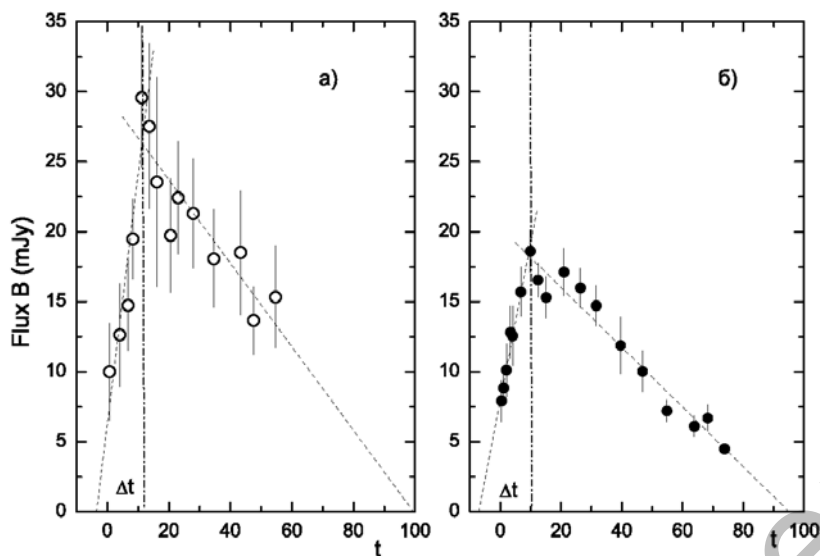


Рис. 3. Составные вспышки первого цикла активности: *а* – по фотографическим, *б* – по фотоэлектрическим данным. Штриховые линии – линейная регрессия для восходящей и нисходящей ветвей вспышки, вертикальная штрих-пунктирная линия отмечает положение максимума

Оказалось, что по фотографическим данным (1906 – 1968 гг.) характерное время переменности $\Delta t = 15 \pm 2$, а по фотоэлектрическим (1968 – 1983 гг.) – 16 ± 1 дней. Таким образом, в 1906 – 1983 гг. в первом цикле активности действовал один и тот же аккреционный диск. После 5-летнего минимума, когда этот диск полностью диссипировал, в 1990 г. начал формироваться новый аккреционный диск, давший начало второму циклу активности. Этот цикл длится уже 18 лет и, возможно, продлится ещё около 10 лет. Тогда мы будем иметь уникальную возможность проследить два полных цикла активности ядра сейфертовской галактики NGC 4151.

Заключение. Анализ переменности ядра NGC 4151 за 100 лет позволил сделать следующие выводы. Во-первых, в течение этого интервала наблюдалось два цикла активности объекта длительностью около 80 лет (первый цикл) и не менее 20 (второй цикл). В этих циклах действовали разные аккреционные диски, причем диск второго цикла имел в два раза большие размеры и, соответственно, большую

светимость. Циклы разделены 5-летним минимумом, во время которого полностью диссипировал первый диск. Как было показано в [6], размеры аккреционного диска определяют характерное время переменности Δt , которое представляет собой время распространения ударной волны по диску. Ударная волна возникает вследствие температурных нестабильностей в центральных частях диска и, распространяясь по диску, приводит к вспышкам (быстрая компонента переменности). Распределение энергии в спектре вспышки соответствует планковскому с температурой 60000 – 70000 К (максимум излучения в области 40-50 нм). Возможно, циклы активности – обычное явление для АЯГ, только далеко не во всех случаях их можно проследить так подробно, как в NGC 4151. Однако можно выделить цикл активности ядра сейфертовской галактики NGC 1275: резкий всплеск активности в 1968 – 1980 гг. с амплитудой ΔB около величины (см. рис. 3, в [8]). При этом возросла активность и в радиодиапазоне (NGC 1275 – известный мощный радиоисточник 3C84), но с запаздыванием радио переменности относительно оптической на 5 – 8 лет [9]. По фотографическим данным в 1964 – 1967 гг. ядро NGC 1275 находилось в минимуме блеска. После 1980 г. минимум длится уже более 25 лет, хотя в последние 5 лет наметился небольшой подъем блеска в полосе U. Два цикла активности видны и на 40-летней кривой блеска ядра сейфертовской галактики NGC 3516 – в 1970 – 1980 и 1990 – 2000 гг., однако они не разделены минимумом, подобным минимуму в NGC 4151. Характерное время переменности для NGC 1275 и NGC 3516 составляет 8 и 6 дней соответственно [7] по наблюдениям 1968 – 1976 гг. В дальнейшем оно будет уточнено – по анализу всех наблюдений. Кривая блеска объекта типа BLLac – “лацертида” OJ 287 охватывает интервал с 1890 по 1998 г. (фотографические и фотоэлектрические наблюдения). OJ 287 относится к так называемым “блазарам” – АЯГ с очень большой амплитудой переменности и является наиболее подробно исследованным из всех блазаров. Амплитуда переменности OJ 287 достигает 6 звездных величин – одна из самых максимальных в АЯГ. Большую амплитуду имеет только квазар 3C 279 (7 величин). Более чем 100-летняя кривая блеска OJ 287 показывает два цикла активности – в 1907 – 1934 и 1957 – 1998 гг. [10], разделенные минимумом 1936 – 1950 гг. Возможно, в этих циклах действовали разные аккреционные диски.

Список литературы

1. Lyuty V. M., Doroshenko V. T. // A New Activity Cycle of NGC 4151: Evidence for the Existence of an Accretion Disk // *Astronomy Letters*. 1999. V. 25 (6). P. 341-350.

2. Doroshenko V. T., Lyuty V. M., Bochkarev N. G., Vlasyuk V. V., Mikhailov V. P., Spiridonova O. I., Grankin K. N., Ezhkova O. V., Melnikov S. Yu. Nuclear Activity of NGC 4151 as Inferred from UBVRI Observations in 1989–2000 // *Astronomy Letters*, 2001. V. 27 (2). P. 65-73.
3. Merkulova N. I., Metik L. P., Pronik I. I. Characteristics of the continuum variability of the nucleus of NGC 4151 in the optical from 1989-1996 // *Astron. and Astrophys.* 2001. V. 374 (3). P. 770-783.
4. Лютый В. М., Окнянский В. Л. // Амплитудно-временные характеристики оптической переменности NGC 4151 в 1906-1984 гг. // *Астрон. журн.* 1987. Т. 64. С. 465.
5. Лютый В. М. // Некоторые особенности оптической переменности АЯГ // *Известия КрАО.* 2008. Т.104. С.99.
6. Лютый В.М. Nature of the optical and ultraviolet variability of the nucleus of NGC 4151: A new concept // *Astronomy Letters.* 2005. V. 31(10). P. 645-662.
7. Лютый В. М. // Оптическая переменность ядер сейфертовских галактик. II. // *Астрон. журн.* 1977. Т. 54. С. 1153.
8. Lyuty V. M. Optical and UV variability of AGNs // *ASP Conference Series.* 2006. V. 360. P. 3.
9. Nesterov N. S., Lyuty V. M., Valtaoja E. Radio and optical evolution of the Seyfert galaxy NGC 1275 // *Astron. Astrophys.* 1995. V. 296. P. 628-632.
10. Kidger M. R. The 11 Year Period in OJ 287 Revisited: Is It a True Long-Enduring Period? // *Astron. Journ.* 2000. V. 119. P. 2053-2059.