

УДК: 524.33—355

## ОJ 287 В 1983 ГОДУ: РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ В ОПТИЧЕСКОЙ И УФ-ОБЛАСТЯХ СПЕКТРА У ПЕРЕМЕННОГО ИСТОЧНИКА

В. А. ГАГЕН-ТОРН, А. И. ГАТАУЛЛИНА, О. В. МИКОЛАЙЧУК

Поступила 12 марта 1991

Принята к печати 6 мая 1991

Сопоставление оптических и УФ-наблюдений ОJ 287 показывает, что его переменность в 1983 г. в оптическом и УФ-диапазонах можно объяснить наличием единственного синхротронного источника, переменность потока которого обусловлена изменением количества в нем релятивистских электронов. Этот источник не несет ответственности за рентгеновское излучение ОJ 287.

1. *Введение.* ОJ 287 является одним из наиболее активных объектов типа BL Lac. Это обстоятельство, а также его относительная яркость привели к тому, что он был включен во многие наблюдательные программы, проводившиеся во всех спектральных диапазонах от радио до рентгена. Настоящая статья посвящена сопоставлению данных о его переменности в оптике и далеком УФ во время вспышки 1983 г. Оптические данные—это результаты пятицветных *UBVRI*-наблюдений из работ [1, 2], данные для УФ-области—это сведения, полученные на спутнике IUE и опубликованные в работе [3]. Анализ оптической переменности ОJ 287 в 1983—84 гг. был проведен нами в работе [4], и эта статья по существу является ее продолжением. Методика анализа имеющего целью выделение переменного источника и изучение его спектральных свойств, изложена в работе [4].

2. *Анализ наблюдательных данных.* В основе методики анализа лежит идея Холоневского [5] сопоставления потоков, наблюдаемых в разных спектральных полосах. Наличие линейной зависимости между наблюдаемыми потоками позволяет сделать заключение о возможности объяснения переменности наличием единственного переменного по потоку источника с измененным распределением энергии в спектре. Это распределение в стократельных единицах легко находится, поскольку наклоны зависимостей дают отношения потоков переменного компонента в соответствующих спектральных полосах.

Рис. 1 иллюстрирует результаты проведенного в [4] анализа *UBVRI*-наблюдений OJ 287 (этот рисунок не был приведен там из-за недостатка места). Видно, что точки, которые соответствуют исправленным за межзвездное поглощение потокам, практически идеально лежат на прямых, что позволяет построить спектр дополнительного источника в интервале  $\lg \nu$  от 14.585 до 14.915, приведенный на врезке. Ясно, что спектр является степенным ( $\Phi, \sim \nu^\alpha$ ), и для спектрального индекса было получено  $\alpha = -1.27 \pm 0.03$ .

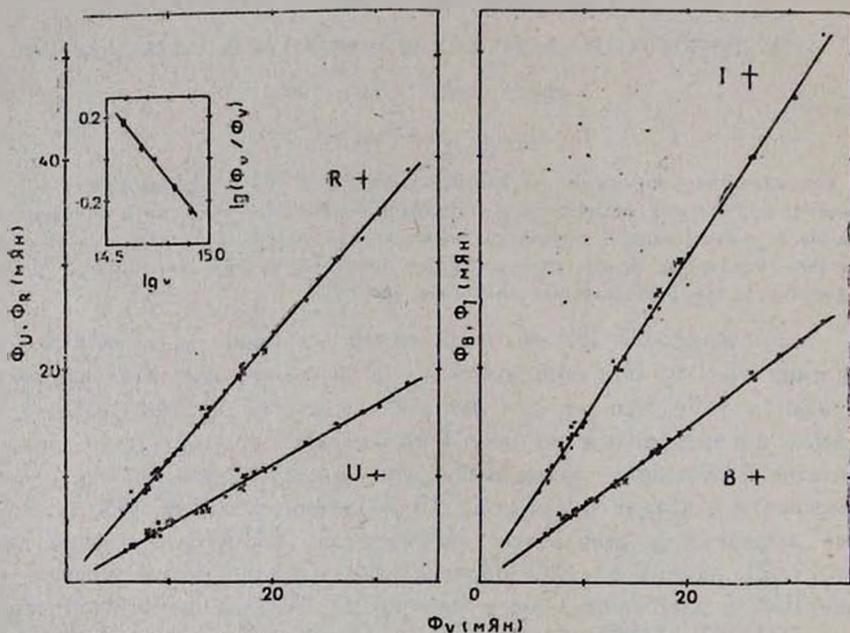


Рис. 1. Сопоставление *UBVRI*-потоков и спектр переменного источника в оптической области (врезка).

В [4] была отмечена важность продолжения спектра переменного источника в УФ-область для выяснения причин его переменности. Наличие выполненных на IUE в 1983 г. наблюдений OJ 287 в полосах  $\lambda 2500 \text{ \AA}$  ( $\lg \nu = 15.08$ ) и  $\lambda 1500 \text{ \AA}$  ( $\lg \nu = 15.30$ ) позволяет попытаться это сделать. Для этого надо сопоставить потоки в УФ-полосах с потоками в одной из полос *UBVRI*, и если зависимости окажутся линейными, то приведенный на врезке рис. 1 спектр можно продолжить до значения  $\lg \nu = 15.30$ .

Наблюдения на IUE не обеспечивались параллельными наблюдениями в оптике, поэтому оптические данные на моменты УФ-наблюдений OJ 287 необходимо взять из литературы. Наибольшее количество наблюдений имеется в полосе В. Одним из авторов статьи была составлена сводная кривая блеска OJ 287 в полосе В. Фрагмент этой кривой (при его построении использовались фотометрические оценки из работ [1, 2, 6—10]) после учета межзвездного поглощения ( $A_B = 0^m 08$ ) и перехода к потокам приведен на рис. 2. На том же рисунке нанесены исправленные за межзвездное поглощение УФ-данные (треугольники для  $\lambda 1500$ , крестики для  $\lambda 2500$ ). В [3] приведены потоки, не исправленные за поглощение. Средняя кривая межзвездного поглощения [11] при  $A_B = 0^m 08$  дает  $A_{2500} = 0^m 148$ ,  $A_{1500} = 0^m 154$ . Эти значения и были использованы при исправлении.

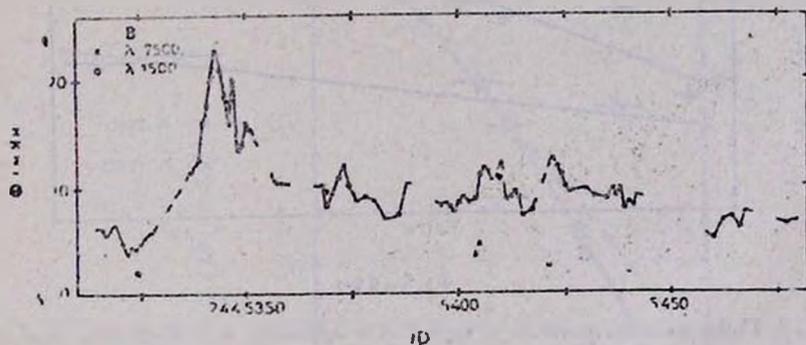


Рис. 2. Изменения потоков в оптике и УФ у OJ 287 в 1983 г.

Видно, что во всех случаях, кроме двух, оптические данные на момент проведения УФ-наблюдений имеются. В двух случаях есть данные на соседнюю дату, и потоки  $\Phi_B$  приходится находить интерполированием.

Сопоставление потоков  $\Phi_{1500}$  и  $\Phi_{2500}$  с потоком  $\Phi_B$  иллюстрирует рис. 3 ( $\Phi_{1500}$ —крестики,  $\Phi_{2500}$ —точки; ошибки указаны на уровне  $1\sigma$ ). Хотя здесь разброс существенно больше, чем на рис. 1, тем не менее зависимости можно считать прямолинейными, т. е. может быть использована модель единственного переменного по потоку источника с неизменным распределением энергии.

Найденные методом ортогональной регрессии уравнения прямых таковы:

$$\begin{aligned}\Phi_{2500} &= 0.403 \Phi_B + 0.739, \\ \Phi_{1500} &= 0.131 \Phi_B + 1.078.\end{aligned}\quad (1)$$

Ошибки угловых коэффициентов равны, соответственно,  $\pm 0.069$  и  $\pm 0.044$ . Таким образом, для отношения потоков переменного компонента имеем  $\Phi_{2500}/\Phi_B = 0.403 \pm 0.069$ ,  $\Phi_{1500}/\Phi_B = 0.131 \pm 0.044$ .

На рис. 4 приведен спектр переменного источника во всем исследуемом интервале частот (точки; ошибки указаны на уровне  $1\sigma$ ). Видимо, что точки в УФ-области расположены ниже прямой, проведенной по *UBVRI*-данным (штриховая линия), причем с ростом частоты уклонение увеличивается.

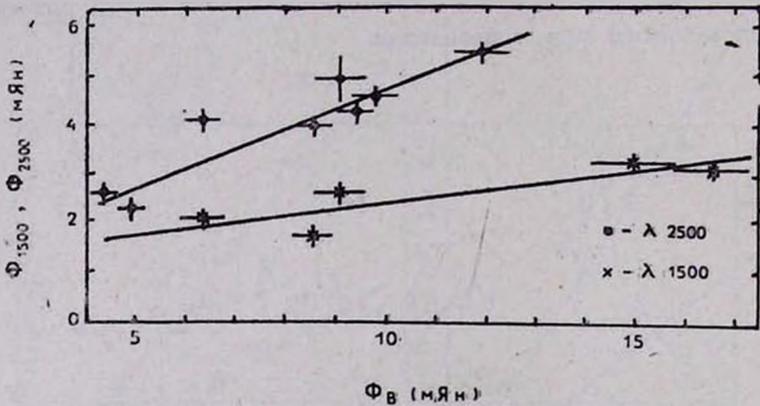


Рис. 3. Сопоставление потоков в полосе В с потоками в УФ-области спектра.

3. *Представление наблюдаемого спектра.* Качественно спектр похож на спектр синхронного источника с высокочастотным загибом. Как известно (см. [4]), зависимость потока от частоты для однородного синхротронного источника дается выражением

$$\Phi_\nu = \text{const} \cdot \nu^\alpha \int_{\nu/\nu_c}^{\infty} x^{-(\alpha+1)} F(x) dx. \quad (2)$$

Здесь  $F(x)$  — табулированная функция, а

$$\nu_c = 1.608 \cdot 10^{13} H_\perp E_{\text{max}}^2, \quad (3)$$

где  $H_\perp$  — перпендикулярная составляющая магнитного поля в Гс, а  $E_{\text{max}}$  — максимальная энергия в распределении электронов источника по энергиям в БэВ.

Для относительного распределения энергии получим

$$\Phi_v/\Phi_{v_0} = (\nu/\nu_0)^\alpha \int_{\nu/\nu_0}^{\infty} x^{-(\alpha+1)} F(x) dx \Bigg| \int_{\nu_0/\nu_0}^{\infty} x^{-(\alpha+1)} F(x) dx. \quad (4)$$

Тогда с учетом того, что  $\alpha = -1.27$ , уклонение точек на рис. 4 от прямолинейного спектра в зависимости от частоты будет даваться выражением:

$$\Delta(\nu) = \lg \left( \int_{\nu/\nu_0}^{\infty} x^{0.27} F(x) dx \Bigg| \int_{\nu_0/\nu_0}^{\infty} x^{0.27} F(x) dx \right). \quad (5)$$

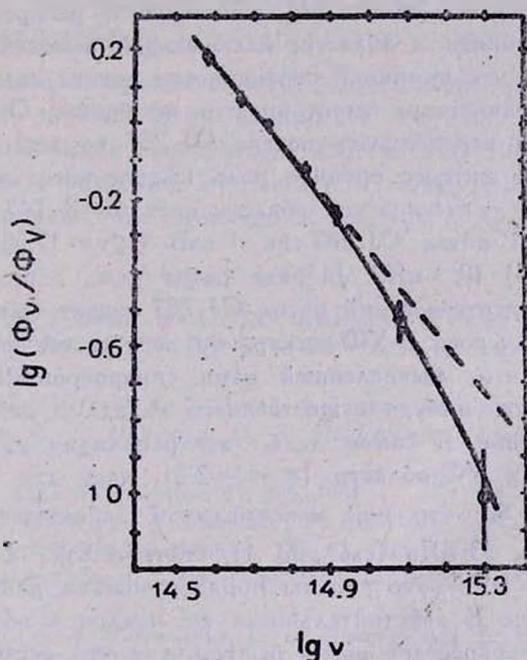


Рис. 4. Спектр переменного источника в оптической и УФ-областях (точки—наблюдаемый, сплошная кривая—вычисленный).

Вычисление  $\Delta(\nu)$  было выполнено нами для разных значений  $\nu_0$  (при вычислении верхний предел в интегралах брался равным 10, что не может привести к ошибке, превышающей несколько процентов). Наилучшее согласие было получено для  $\nu_0 = 1.8 \cdot 10^{16}$  Гц—сплошная кривая на рис. 4. Итак, наблюдаемый спектр хорошо представляется спектром однородного синхротронного источника с  $\alpha = -1.27$  и  $\nu_0 = 1.8 \cdot 10^{16}$  Гц.

4. *Обсуждение результатов.* Определив величину  $\nu_0$  для источника, мы тем самым нашли произведение  $H_{\perp}$  на  $E_{\max}^2$ . Представляет интерес определить эти величины по отдельности. Грубую оценку можно получить, если предположить, что характерное время переменности  $\tau$  по порядку величины соответствует времени высвечивания электронов, которое зависит от  $H_{\perp}$  и  $E_{\max}$ :

$$\tau_{\nu} = 1/3.8 \cdot 10^{-6} H_{\perp}^2 E_{\max}. \quad (6)$$

При характерном времени переменности в 1 сутки решение системы (3), (6) дает  $H_{\perp} = 0.44$  Гс,  $E_{\max} = 16.1$  БэВ, при  $\tau = 1$  час (что более правдоподобно) —  $H_{\perp} = 3.6$  Гс,  $E_{\max} = 5.6$  БэВ. Эти значения напряженности поля согласуются с величинами, принимаемыми для магнитных полей в джетах.

Как было отмечено нами в [4], неизменность распределения энергии переменного источника в области, включающей высокочастотный загиб, указывает на то, что причиной переменности потока является изменение количества релятивистских электронов в источнике. Очевидно, именно этим обусловлена переменность потока OJ 287 во вспышке 1983 г.

Представляет интерес оценить роль выделенного нами синхротронного источника в рентгеновской области спектра. В [4] было отмечено, что наблюдаемый поток OJ 287 на 1 кэВ ( $l_{\nu} = 17.38$ ) изменяется в пределах  $(3 \div 18) \cdot 10^{-4}$  мЯн. В ряде работ (см., например, [12]) утверждается, что рентгеновский поток OJ 287 может быть получен экстраполяцией оптического и УФ-спектра на рентгеновскую область. Легко видеть, однако, что вычисленный нами синхротронный источник не может дать сколько-нибудь существенного вклада в наблюдаемое рентгеновское излучение. В самом деле, экстраполяция даже с наклоном, имеющем место в УФ-области ( $\alpha = -2.2$ ), дает для 1 кэВ значение  $\lg(\Phi_{\nu}/\Phi_V) = -5.60$ , что при максимальном наблюдавшемся в полосе  $V$  потоке, равном 33 мЯн (см. рис. 1), соответствует потоку на 1 кэВ, равному  $0.5 \cdot 10^{-4}$  мЯн. Это уже на порядок меньше наблюдаемых рентгеновских потоков. В действительности же наклон в области высокочастотного загиба возрастает очень быстро, так что экстраполированный на область 1 кэВ поток синхротронного источника, ответственного за переменность в оптике и УФ,  $\ll 0.5 \cdot 10^{-4}$  мЯн, и вклад его несущественен. В связи с этим отметим, что одновременные многочастотные наблюдения ряда активных объектов, например 3C 273 [13], не показывают корреляции между изменениями в оптико-ультрафиолетовой области и рентгене.

5. *Заключение.* Таким образом, нами установлено, что переменность OJ 287 во вспышке 1983 г. в широком диапазоне длин волн от ближней

ИК-области до далекой УФ может быть объяснена наличием единственного синхротронного источника, переменность которого обусловлена изменением в нем количества релятивистских электронов. Этот источник не несет ответственности за рентгеновское излучение OJ 287.

Ленинградский государственный  
университет

Удмуртский государственный  
университет

Стерлитамакский педагогический  
институт

## OJ 287 IN 1983: SPECTRAL ENERGY DISTRIBUTION OF VARIABLE SOURCE IN OPTICAL AND UV REGIONS

V. A. HAGEN-THORN, A. I. DATULLINA, O. V. MIKOLAICHUK

The comparison of optical and UV observations of OJ 287 shows that its variability in 1983 in optical and UV regions may be explained by the existence of single synchrotron source. The flux variability of the source is due to variations of number of relativistic electrons. This source is not responsible for observed X-ray flux of OJ 287.

### ЛИТЕРАТУРА

1. M. L. Sitko, G. D. Schmidt, W. A. Stein, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 59, 323, 1985.
2. P. S. Smith, T. J. Balonek, R. Elston, P. A. Heckert, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 64, 459, 1987.
3. L. Maraschi, G. Tagliferri, E. G. Tanzi, A. Traves, *Astrophys. J.*, 704, 637, 1986.
4. В. А. Гаген-Торн, С. Г. Марченко, О. В. Миколайчук, *Астрофизика*, 32, 429, 1990.
5. J. Choloniewski, *Acta Astronomica*, 31, 293, 1981.
6. A. Sillanpää, P. Teertkorpi, S. Huarala, T. Korhonen, Ju. S. Eftimov, N. M. Shakhovskoy, *Astron. and Astrophys.*, 147, 67, 1985.
7. M. Moles, J. García-Pelayo, J. Mesegosa, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 211, 625, 1984.
8. С. А. Пустыльник, Л. А. Пустыльник, С. И. Незвестный, В. М. Лютый, *Сообщ. Спец. астрофиз. обсерв. АН СССР*, № 48, 27, 1986.
9. В. А. Гаген-Торн, Н. С. Денисенко, Т. М. Максимова, С. Г. Марченко, О. В. Миколайчук, *Тр. АО ЛГУ*, 41, 96, 1987.
10. J. R. Webb, A. G. Smith, R. J. Leacock, G. L. Fitzgibbons, P. P. Gombola, D. W. Shepherd, *Astron. J.*, 95, 374, 1988.
11. А. Спитцер мл., *Физические процессы в межзвездной среде*, Мир, М., 1981, стр. 189.
12. G. M. Madejski, D. A. Schwartz, *Astrophys. J.*, 330, 776, 1988.
13. T. G.-L. Scurvoelster, E. I. Robson, A. Blecha, P. Bouchet, R. Falomo, M. Kaszak, R. Staubert, H. Teräsranta, M. J. L. Turner, E. Valtaoja, R. Walther, W. Wamsteker, *Astron. and Astrophys.*, 234, 73, 1990.