

# АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

## АСТРОФИЗИКА

ТОМ 11

НОЯБРЬ 1975

ВЫПУСК 4

### О ВОЗМОЖНОМ МЕХАНИЗМЕ ОПТИЧЕСКОЙ ПЕРЕМЕННОСТИ ЯДЕР СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК

В. А. ГАГЕН-ТОРН

Поступила 16 января 1975

Пересмотрена 17 февраля 1975

Вычисленные семейства синхротронных спектров, различающихся значением критической частоты  $\nu_c$ , достаточно хорошо представляют результаты UVB-наблюдений переменных ядер сейфертовских галактик NGC 4151 и NGC 1275. Найдено, что изменение  $\nu_c$  обусловлено сравнительно небольшими изменениями  $E_{max}$ . Для NGC 4151 получено  $H \geq 0.06$  тс,  $E_{max} \leq 1.7 \times 10^7$  Эв.

В работе [1] было показано, что переменность оптического излучения ядер сейфертовских галактик связана с существованием в них переменных синхротронных источников малого размера. Было отмечено, что на отдельных интервалах времени поведение этих источников в ядрах NGC 4151 и NGC 1275 качественно согласуется с предположением о том, что переменность связана с изменениями в высокоэнергетическом хвосте распределения электронов по энергиям. Здесь мы приведем результаты расчета синхротронных спектров. Детальные расчеты должны, разумеется, учитывать эффекты эволюции энергетических спектров электронов, но мы примем для простоты, что для разных моментов времени распределения электронов по энергиям, будучи степенными, отличаются только значением  $E_{max}$ . Мы покажем, что изменения  $E_{max}$  позволяют достаточно хорошо представить результаты наблюдений.

*Результаты расчета для NGC 4151.* Как известно (см. напр., [2]), зависимость плотности потока от частоты для синхротронного источника с распределением электронов по энергиям  $N(E)dE = kE^{-\alpha}dE$  дается выражением

$$F_{\nu} = CkH^{\frac{\nu+1}{2}} \nu^{-\frac{\beta-1}{2}} \int_{\nu/\nu_c}^{\infty} x^{\frac{\beta-1}{2}} F(x) dx. \quad (1)$$

Здесь  $C$  — постоянная (включающая в себя, в частности, расстояние до источника),  $H$  — перпендикулярная составляющая магнитного поля,  $F(x)$  — затабулированная в [3] функция и

$$\nu_c = 1.6 \cdot 10^{11} H E_{\max}^2. \quad (2)$$

( $\nu_c$  — в гц, если  $H$  в гс и  $E_{\max}$  в Бэв).

Данные о наблюдавшихся в 1968 г. в ядре NGC 4151 потоках синхротронного излучения в полосах UVV, взятые из [1], нанесены на рис. 1 (точки). Поскольку наклон спектров изменяется, из формулы (1) следует, что должно изменяться либо  $\beta$ , либо  $\nu_c$ . Как было указано в [1], изменения  $\beta$  маловероятны. Покажем, что, меняя  $\nu_c$ , можно получить семейство расчетных спектров, согласующихся с наблюдаемыми. Ясно, что уменьшение  $\nu_c$  приводит к уменьшению потока  $F_{\nu}$  на данной частоте и к увеличению наклона спектра.

Сделаем два предположения. Во-первых, будем считать, что  $\nu_c$  изменяется за счет изменения  $E_{\max}$ , то есть  $H$  — постоянно (в дальнейшем мы покажем справедливость этого предположения). Во-вторых, предположим, что в максимуме блеска  $\nu_c$  настолько велико, что в оптической области  $\nu \ll \nu_c$ . Тогда наблюдаемый в максимуме блеска спектральный индекс  $\alpha$  позволяет найти  $\beta$  ( $\alpha = -(\beta - 1)/2$ ,  $\beta = 1 - 2\alpha$ ). Зная  $\beta$  и заменив нижний предел интегрирования в (1) на 0 ( $\nu \ll \nu_c$ ), можно, используя наблюдаемые в максимуме значения потока  $F_{\nu}$  в любом из цветов, найти постоянную  $C_1 = CkH^{\frac{\beta-1}{2}}$ . Теперь формула (1) может быть использована для расчета синхротронных спектров.

Если определять величину  $\alpha$  по всем трем точкам (U, V, V), то в максимуме блеска  $\alpha = -0.08$ . Надо заметить, однако, что использование точки, относящейся к цвету U, встречает следующее возражение. На поток в цвете U большое влияние оказывает эмиссионный бальмеровский континуум. Поскольку у сейфертовских галактик отмечена переменность потока в  $H_{\alpha}$  [4], можно ожидать и переменности континуума. Действительно, рассчитанный для NGC 4151 Оуком и Саргентом [5] по интенсивностям бальмеровских линий поток в континууме для  $\lambda = 0.36 \mu$  ( $\lambda_{\text{эф}}$  для цвета U составляет  $0.29 \times 10^{-27}$  вт/м<sup>2</sup>гц. Эта величина оказывается больше, чем поток от ядра в минимуме блеска для 27"-ой диафрагмы  $0.17 \times 10^{-27}$  вт/м<sup>2</sup>гц [1]. Это определенно подтверждает переменность континуума тем более, что эмиссионные линии излучаются областью меньшей, чем 27". Поэтому

для определения наклона правильнее использовать только данные в цветах В и V. В этом случае  $\alpha = -0.25$ , что дает  $\beta = 1.50$ .

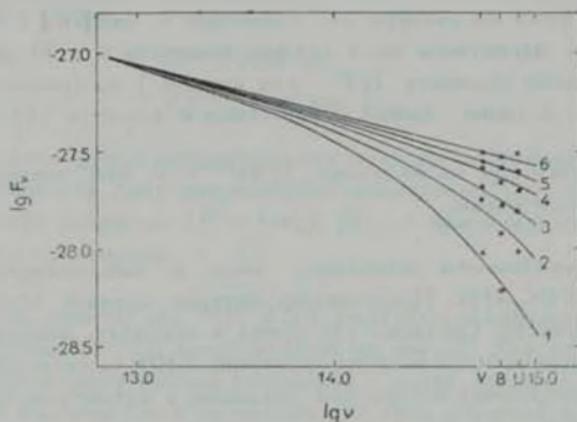


Рис. 1 Результаты для NGC 4151

Вычисления были выполнены на ЭВМ студентами Ю. А. Шалберовым и С. В. Судаковым, за что автор приносит им благодарность. Верхний предел при интегрировании брался равным 10. Легко показать, используя асимптотическое выражение для  $F(x)$  при  $x > 10$ , что ошибка при этом не превышает 3%. Результаты расчета приведены в табл. 1 и представлены на рис. 1 сплошными линиями. Согласие с наблюдениями следует при-

Таблица 1  
ВЫЧИСЛЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ  $\lg F$  ДЛЯ NGC 4151

№ кривой	1	2	3	4	5
$\lg v$	14.90	15.25	15.55	16.00	16.45
13.0	-27.07	-27.06	-27.06	-27.05	-27.05
14.0	-27.44	-27.40	-27.37	-27.35	-27.33
14.5	-27.82	-27.65	-27.57	-27.50	-27.47
14.8	-28.14	-27.85	-27.72	-27.62	-27.57
15.0	-28.43	-28.04	-27.86	-27.71	-27.64

знать удовлетворительным, поскольку отклонения точек от кривых не превышают возможных ошибок наблюдений. Небольшие систематические отклонения данных для цвета V вверх от кривых, а для цвета В — вниз, возможно, связаны с небольшими неточностями ( $0^m 01 - 0^m 03$ ) в уровне минимального блеска NGC 4151, от которого отсчитывалось дополнительное излучение (см. [1]).

Рассмотрение таблицы и рисунка показывает, что критическая частота изменяется в пределах  $10^{14.9} \div 10^{15.2}$  (примерно в 40 раз), для чего требуется, согласно формуле (2), сравнительно небольшое изменение  $E_{\max}$  в 6.3 раза. Если же считать, что изменения  $\nu$  связаны с изменением  $H$ , то величина магнитного поля должна измениться в 40 раз. В этом случае рассчитанные значения  $\lg F_{\nu}$  для кривой 1 по сравнению с кривой 5, например, должны из-за присутствия в формуле (1) множителя  $H^{2.1}$  уменьшиться еще на величину  $\lg 40^{12.5} = 2$ , что, очевидно, не согласуется с наблюдениями.

Оценка напряженности магнитного поля и максимальной энергии электронов для NGC 4151. Представляет интерес оценить величины  $H$  и  $E_{\max}$  по отдельности. Согласно [3] время в секундах, необходимое для уменьшения первоначальной энергии электрона  $E(0)$  до величины  $E(t)$  (в Бэв) из-за синхротронных потерь при движении в магнитном поле  $H$  гс, дается выражением

$$t = \frac{1}{3.8 \cdot 10^{-6} H^2} \left| \frac{1}{E(t)} - \frac{1}{E(0)} \right|.$$

Отсюда для уменьшения энергии в  $n$  раз требуется время

$$t = \frac{n-1}{3.8 \cdot 10^{-6} H^2 E(0)}. \quad (3)$$

Обратим внимание (см. рис. 3 в [1]), что кривая 5 ( $\lambda = 10^{16.1}$ ) относится к местному максимуму на кривой блеска (J.D. 2439984), а кривая 2 ( $\lambda = 10^{15.23}$ ) к непосредственно следующему за ним минимуму (J.D. 2439999). Интервал между этими датами составляет 15 дней, а отношение  $E_{\max}^{(984)} / E_{\max}^{(999)} = 4$ . Если отождествить уменьшение  $E_{\max}$  с высвечиванием электронов, то (3) дает

$$H_{\perp}^2 E_{\max}^{(984)} = 0.61 \quad (4)$$

С другой стороны, из формулы (2) следует

$$H_{\perp} [E_{\max}^{(984)}]^2 = 1.76 \cdot 10^4. \quad (5)$$

Решение (4)—(5) есть

$$\begin{aligned} H_{\perp} &= 0.06 \text{ гс,} \\ E_{\max}^{(984)} &= 1.7 \cdot 10^2 \text{ Бэв} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} H_{\perp} &= 0.06 \text{ гс,} \\ E_{\max}^{(984)} &= 1.7 \cdot 10^2 \text{ Бэв} \end{aligned}} \right\} \quad (6)$$

Необходимо отметить, однако, что время высвечивания может быть и мен-

ше 15 дней (например, если в область с магнитным полем были впрыснуты дополнительные электроны). Поэтому равенства (6) должны быть заменены неравенствами

$$H > 0.06 \text{ гс}, \quad (7)$$

$$E_{\text{max}}^{(94)} = 1.7 \cdot 10^9 \text{ Бэв.}$$

Выведенная нами оценка напряженности поля не противоречит результатам, полученным для ряда разрешенных компактных радионисточников во внегалактических объектах ( $H \approx 1 \text{ гс}$ ) [6], а максимальная энергия не представляется чрезмерной.

*Результаты расчета для NGC 1275.* Результаты наблюдений для этой галактики, взятые из [1], представлены на рис. 2. Для определения постоянной  $C$ , оптические данные сшивались с радио данными на миллиметровых волнах. Расчеты были проведены для трех значений  $\alpha$  ( $-0.5$ ,  $-0.6$ ,  $-0.7$ ). Для значения  $\alpha = -0.7$  удалось построить семейство различающихся значением  $\nu_c$  синхротронных спектров, проходящих через наблюдаемые точки (сплошные линии на рисунке). Результаты вычислений содержатся в табл. 2.

Таблица 2  
ВЫЧИСЛЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ  $\lg F$  ДЛЯ  
NGC 1275

№ кривой	1	2	3
$\lg \nu_c$	14.50	14.80	15.05
13.0	-26.08	-26.08	-26.08
14.4	-27.39	-27.23	-27.16
14.7	-27.93	-27.63	-27.47
15.0	-28.78	-28.15	-27.86

Кривая 3 ( $\nu_c = 10^{15.05}$ ) относится к максимальному наблюдавшемуся блеску, кривая 1 ( $\nu_c = 10^{14.50}$ ) к блеску, близкому к минимальному. При этом  $E_{\text{max}}$  изменилось всего в 1.9 раза. Поскольку данные для NGC 1275 менее подробны, чем для NGC 4151, мы не пытались получить одновременной оценки напряженности поля и  $E_{\text{max}}$ . Однако если считать, что магнитное поле в источнике, ответственном за оптическое излучение в ядре NGC 1275 того же порядка, что и в компактном радионисточнике ( $H \approx 1 \text{ гс}$ ), то для максимальной энергии получаем заметно меньшее, чем в случае NGC 4151, значение  $E_{\text{max}} \approx 8.4 \text{ Бэв}$  (для  $\lg \nu_c = 15.05$ ). Отметим, что в [2] для объекта O.I 287 по результатам спектрофотометрии во время вспышки

1972 г. получены приблизительно такие же значения максимальной энергии и напряженности поля ( $H \approx 0.6$  гс,  $E_{max} \approx 8.6$  Бэв).

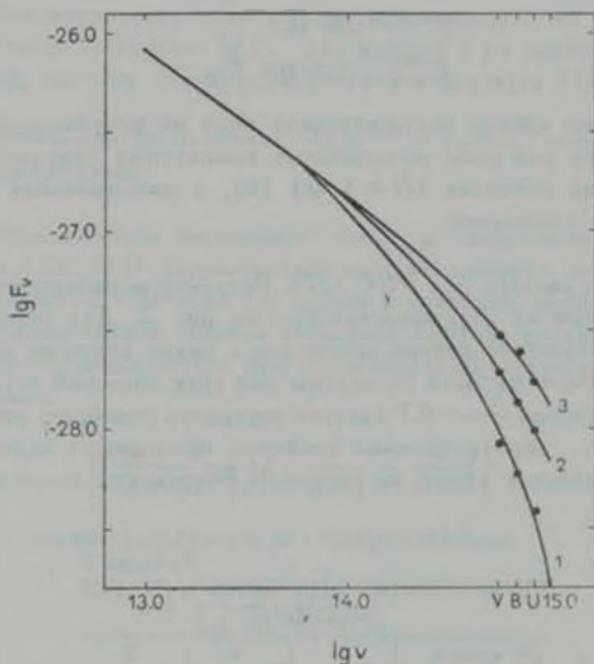


Рис. 2. Результаты для NGC 1275.

В заключение отметим, что использованная нами схема является лишь довольно грубым приближением к действительности. Тем не менее она позволяет объяснить основные черты фотометрического поведения ядер сейфертовских галактик. Полученные нами значения  $E_{max}$  не оказываются неприемлемо высокими, а оценка напряженности поля не противоречит имеющимся данным о магнитных полях в компактных внегалактических радиоисточниках.

Ленинградский государственный  
университет

ON A POSSIBLE MECHANISM OF THE OPTICAL  
VARIABILITY OF THE NUCLEI OF SEYFERT GALAXIES

V. A. HAGEN-THORN

A family of calculated synchrotron spectra with differing critical frequency  $\nu_c$  represent reasonably well the results of UVB observations of the variable nuclei of Seyfert galaxies NGC 4151 and NGC 1275. It is shown that variations in  $\nu_c$  are caused by rather small variations of  $E_{max}$ . For NGC 4151 it is found that  $H > 0.06 g$ ,  $E_{max} \leq 1.7 \cdot 10^7$  Gev.

## ЛИТЕРАТУРА

1. М. К. Бабаджанянц, В. А. Гаген-Торн, В. М. Лютый, *Астрофизика*, 8, 509, 1972.
2. N. Visvanathan, *Ap. J.*, 185, 145, 1973.
3. J. H. Oort, T. Walraven, *BAN*, 12, 285, 1956.
4. А. М. Черепашчук, В. М. Лютый, *Ap. Lett.*, 13, 165, 1973.
5. J. B. Oke, W. L. W. Sargent, *Ap. J.*, 151, 807, 1968.
6. K. I. Kellermann, *External Galaxies and Quasi-Stellar Objects*, Dordrecht, 1972, p. 190.