

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 13

ФЕВРАЛЬ, 1977

ВЫПУСК 1

ОПТИЧЕСКИЕ ВСПЫШКИ В ГАЛАКТИКЕ СЕЙФЕРТА NGC 1275

З. И. ЦВЕТАНОВ, И. М. ЯНКУЛОВА

Поступила 10 июня 1976

Радионаблюдения галактики Сейферта NGC 1275 за период 1960—1973 гг. [1—21] представлены в функции времени. В оптической области использовались UBV наблюдения Лютого [27, 28]. На основе этих данных построен спектр источника в интервале 10^7 — 10^{15} эв.

В предположении, что нетепловое излучение имеет синхротронную природу, вычислены физические параметры, характеризующие релятивистские электроны, излучающие в радио и оптической областях. Получены также и энергетические спектры этих электронов. Сделан вывод, что оптические вспышки отличаются друг от друга только по числу инжектированных электронов. В минимуме вспышек плотность энергии релятивистских электронов в единичном энергетическом интервале меняется больше, чем в максимуме. Возможно, что эти вспышки (~ 150 дней) накладываются на другие, более длительные (~ 1.5 года) вариации.

За период времени с 1960 г. по 1973 г. частота ν_m , при которой радиокомпонента С имеет максимум, уменьшается, в то время, как поток I_{ν_m} при этой частоте увеличивается, т. е. наблюдения не согласуются с теорией ван дер Лаана [31].

1. *Радиоспектр галактики Сейферта NGC 1275.* Рассмотренная в настоящей работе галактика NGC 1275 (Per A, 3C 84) является одним из наиболее сильных внегалактических радиоисточников. На рис. 1 в функции времени представлены результаты наблюдательных данных за период 1960—1973 гг. [1—21]. Поведение 3C 84 на разных частотах в радиодиапазоне (рис. 1) приблизительно можно описать следующим образом. На 22 см, 40 см и более длинных волнах поток не меняется. На 11 см он увеличивается линейно со скоростью около 3% в год. В диапазоне от 6 до 2.8 см также наблюдается увеличение потока. При этом, однако, скорость увеличения постепенно растет с уменьшением λ , и на кривой непрерывного нарастания потока накладываются отдельные вспышки с амплитудой, до-

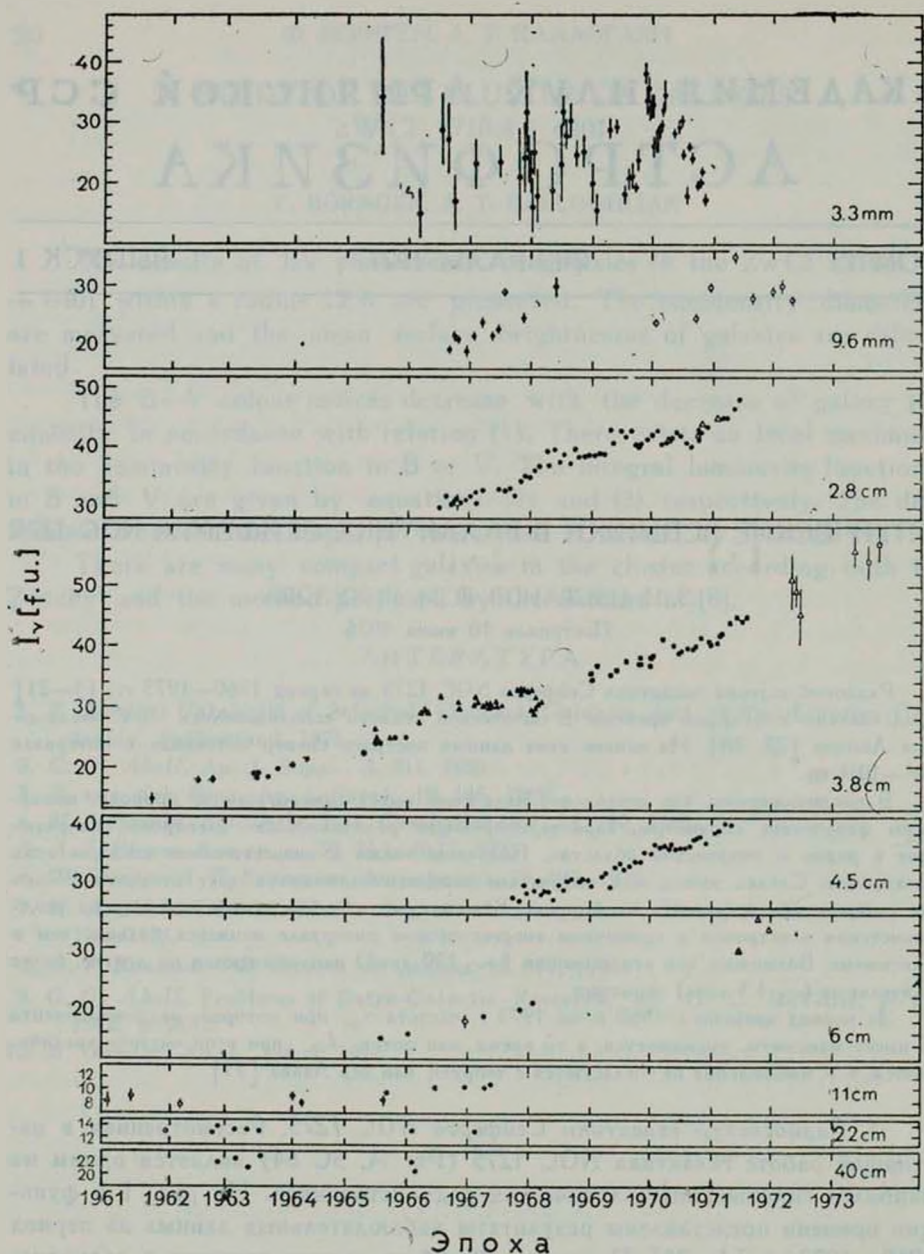


Рис. 1. Радионаблюдения NGC 1275 в области частот от 40 мм до 3.3 мм в функции времени. Значения величины потока излучения I_v (в единицах 10^{-26} Вт/м²/Гц) брались согласно: 40 см — ● Келлермани, Паулини-Тот [1], 22 см — ● Келлермани, Паулини-Тот [1], ○ Аллен и др. [2], 11 см — ● Келлермани, Паулини-Тот [1], Келлермани, Паулини-Тот, Тилер [3], ○ Келлермани [4], ▲ Хишен [5], 6 см — ● Паулини-Тот, Келлермани [6], ○ Келлермани и др. [7], △ Берг, Сейелстад [8], 4.5 см — ● Медд и др. [9], ● Медд и др. [10], 3.8 см — ● Дент и др. [11], ▲ Аллер [12], ■ Дент, Коуан [13], □ Роджерс и др. [14], △ Уиттелс и др. [15], 2.8 см — ● Медд и др. [10], ● Медд и др. [9], ○ Дохерти и др. [16], △ Келлермани, Паулини-Тот [17], 9.6 мм — ● Хоббс и др. [18], ● — Хоббс и др. [19], ○ Дент, Хоббс [20], 3.3 мм — ● Фогарти и др.

стигающей 4 Jy^* (при $\lambda = 3.8 \text{ см}$ [13]). При дальнейшем уменьшении длины волны величина потока продолжает увеличиваться, однако скорость увеличения уменьшается с уменьшением λ . При $\lambda = 3.3 \text{ мм}$ уже не наблюдается увеличение потока и на постоянном континууме накладываются отдельные повторяющиеся вспышки с амплитудой, достигающей 13 Jy [21].

Полный спектр NGC 1275 представлен на рис. 2. В радиобласти он состоит из трех хорошо определенных компонент *A*, *B* и *C*. Они представлены на рис. 2 пунктирными линиями, при этом спектр компоненты *C* от-

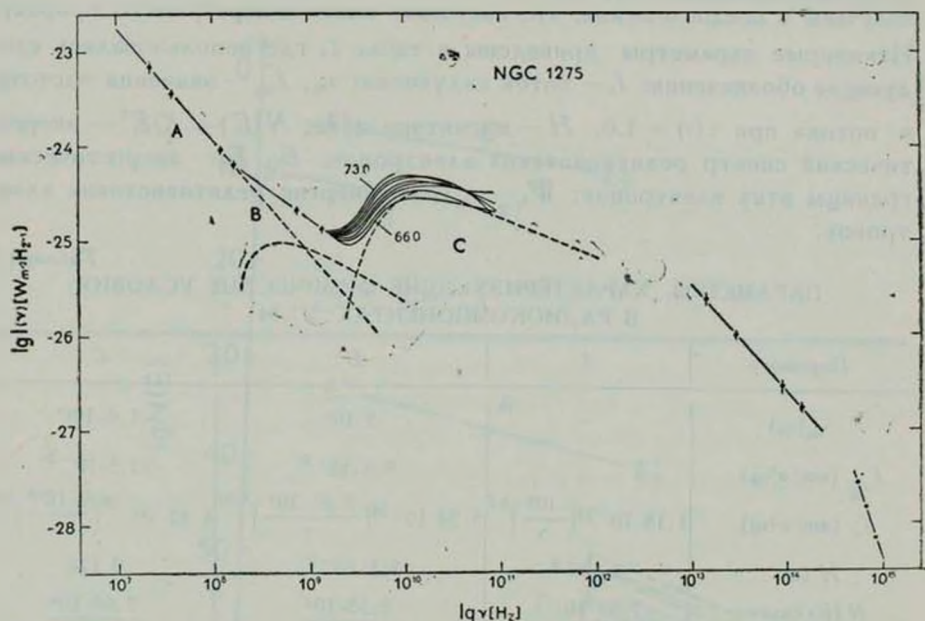


Рис. 2. Спектр излучения NGC 1275. В радиодиапазоне использованы наблюдения, представленные на рис. 1, а также наблюдения Келлерманна и др. [7] ($38 M_{100}$ и $178 M_{100}$), Роджера и др. [32] ($22.25 M_{100}$), Ериксона и др. [33] ($121.16 M_{100}$). В инфракрасной области наблюдения брались по данным Клейнмана и Лоу [34], Рике и Лоу [35], а в оптической области согласно Лютому [27, 28].

носит к 1967 г. Спектры оптически толстых компонент *B* и *C* получены вычитанием из общего наблюдаемого потока экстраполированного спектра низкочастотной компоненты *A*. Компонента *C* является самой внутренней из трех. Она очень компактна и практически совпадает с ядром галактики. Угловые размеры этой компоненты, согласно радиointерферометрическим наблюдениям с межконтинентальными базами [22], равны $0.''001$. При $H = 100 \text{ км/сек}$ M_{100} им отвечают линейные размеры

* $1 \text{ Jy} = \text{ед. потока} = 10^{-26} \text{ вт/м}^2 \text{ мк.}$

$d_C \approx 0.25$ пс. Недавние радиоинтерферометрические наблюдения NGC 1275 на 2 и 2.8 см [23, 24] показывают, что радиокомпонента С имеет сложную структуру. В интервале частот $2.7 \cdot 10^9 \leq \nu \leq 1.6 \cdot 10^{10}$ гц в ней имеет место самопоглощение, а в области частот $2.51 \cdot 10^{10} \leq \nu \leq 10^{12}$ гц она является оптически тонкой. Поток излучения компоненты С меняется во времени и медленно увеличивается в коротком сантиметровом диапазоне. Поток излучения компонент А и В остается постоянным во времени.

Параметры, характеризующие физические условия радиокомпонент, получены в предположении, что излучение имеет синхротронную природу. Некоторые параметры приведены в табл. 1, где использовались следующие обозначения: I_ν — поток излучения; ν_m , I_{ν_m} — значения частоты и потока при $\tau(\nu) = 1.0$; H — магнитное поле; $N(E) = K/E^\Gamma$ — энергетический спектр релятивистских электронов; E_1 , E_2 — энергетические границы этих электронов; W_e — полная энергия релятивистских электронов.

Таблица 1

ПАРАМЕТРЫ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ
В РАДИОКОМПОНЕНТАХ 3С 84

Параметр	А	В	С
ν_m (гц)		$5 \cdot 10^8$	$1.6 \cdot 10^{10}$
I_{ν_m} (вт/м ² гц)		$9.6 \cdot 10^{-26}$	$33.5 \cdot 10^{-26}$
I_ν (вт/м ² гц)	$1.18 \cdot 10^{-24} \left(\frac{10^8}{\nu} \right)^{1.2}$	$5.24 \cdot 10^{-26} \left(\frac{2.51 \cdot 10^9}{\nu} \right)^{0.53}$	$1.82 \cdot 10^{-25} \left(\frac{9 \cdot 10^{10}}{\nu} \right)^{0.48}$
H (гс)	$2 \cdot 10^{-5}$	$3.5 \cdot 10^{-2}$	0.128
$N(E)$ (электрон/см ⁻³ эв ⁻¹)	$\frac{7.37 \cdot 10^{-7}}{E^{3.4}}$	$\frac{1.55 \cdot 10^4}{E^{2.06}}$	$\frac{2.69 \cdot 10^9}{E^{1.96}}$
W_e (эрг)	10^{57}	10^{51}	$3.53 \cdot 10^{51}$
E_1 (эв)	$1.03 \cdot 10^8$	$2.77 \cdot 10^7$	$8.35 \cdot 10^7$
E_2 (эв)	$7.75 \cdot 10^9$	$6.67 \cdot 10^8$	$3.98 \cdot 10^9$

Величина магнитного поля H компоненты А получена на основе предположения о равномерном распределении энергии космических лучей и магнитного поля. Для остальных двух компонент В и С величины магнитного поля определяются исходя из того, что в них имеет место самопоглощение, при этом значения частоты ν_m и потока I_{ν_m} , где $\tau(\nu) = 1.0$, определяются из наблюдаемого спектра. Вычисленные значения магнитного поля 0.128 гаусс (С), $3.5 \cdot 10^{-2}$ гаусс (В) и $2 \cdot 10^{-5}$ гаусс (А) показывают, что оно быстро уменьшается при переходе от центральных частей к гало. Вычисленные значения энергии магнитного поля

$$W_m = \frac{H^2}{8\pi} = \begin{cases} 3.73 \cdot 10^{53} \text{ эрг} & \text{для компоненты } B \\ 2 \cdot 10^{50} \text{ эрг} & \text{для компоненты } C \end{cases}$$

показывают, что в области C энергия космических лучей $W_{GR} \approx 10^2 W_m$ на три порядка превосходит энергию, содержащуюся в магнитном поле, тогда как в области B $W_{GR} \approx W_m$, т. е. имеет место равнораспределение энергии космических лучей и поля. Необходимо сразу же отметить, что значения W_{GR} и W_m для компонент B и C получены независимо друг от друга.

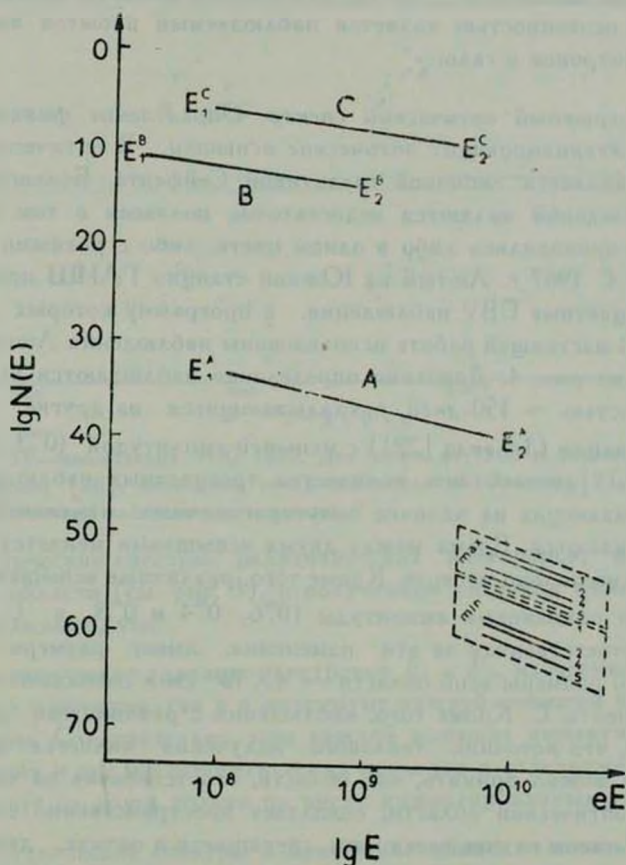


Рис. 3. Энергетический спектр $N(E)$ (электроны, $\text{см}^{-3} \text{ эв}^{-1}$) релятивистских электронов, ответственных за излучение радиокомпонент A , B , C и энергетический спектр релятивистских электронов, обуславливающих оптические вспышки.

На рис. 3 представлен полный энергетический спектр релятивистских электронов, ответственных за излучение всех трех радиокомпонент. Видно, что между энергетическими спектрами компонент B и C нет больших различий и, в частности, что они имеют приблизительно одинаковые накло-

ны $\gamma_C \sim \gamma_B$. С другой стороны, в области C $W_{GR} \gg W_m$, т. е. здесь магнитное поле не может задержать релятивистские электроны и они быстро переходят в область B и обуславливают ее светимость. Далее можно ожидать, что электроны медленно вытекают из области B в гало. Необходимо, однако, отметить, что вычисленный энергетический спектр релятивистских электронов компоненты A имеет две важные особенности. Во-первых, следовало бы ожидать, что $E_1^A < E_2^B$, тогда как на рис. 3 наблюдается обратное. Причина этого несоответствия в том, что энергия E_1^A определяется наименьшей частотой $\nu \sim 10^7$ гц, для которой имеются наблюдения. Второй важной особенностью является наблюдаемый избыток высокоэнергетических электронов в гало.

2. *Непрерывный оптический спектр. Определение физических параметров, характеризующих оптические вспышки.* В оптической области NGC 1275 является типичной галактикой Сейферта. Большинство более ранних наблюдений являются недостаточно полными в том смысле, что наблюдения проводились либо в одном цвете, либо с разными диафрагмами [25, 26]. С 1967 г. Лютый на Южной станции ГАИШ проводит регулярные трехцветные UBV наблюдения, в программу которых включена и NGC 1275. В настоящей работе использованы наблюдения Лютого [27, 28], показанные на рис. 4. Довольно определенно наблюдаются вспышки продолжительностью ~ 150 дней, накладывающиеся на другие, более длительные вариации (1.5 года [29]) с меньшей амплитудой ($0^m3 - 0^m5$ в U). Поскольку нет достаточного количества трехцветных наблюдений, убедительно указывающих на наличие полуторогодичных изменений, последние не рассматриваются. Время между двумя вспышками меняется от нескольких дней до несколько месяцев. Кроме того, различные вспышки имеют приблизительно одинаковые амплитуды (0^m6 , 0^m4 и 0^m3 в U, B и V). Область, ответственная за эти изменения, имеет размеры $\lesssim$ ст. При $t \sim 150$ дней размеры этой области $\sim 4 \times 10^{17}$ см и совпадают с размерами радиокомпоненты С. Кроме того, наблюдения с различными диафрагмами показывают, что источник теплового излучения является центральным [28]. Тогда можно принять, что область, ответственная за изменения излучения в оптической области, совпадает пространственно с радиокомпонентой С. В таком случае электроны, светящиеся в оптике, движутся в том же магнитном поле, в котором движутся электроны, излучающие в миллиметровом и сантиметровом диапазонах, т. е. в поле, определенном для области С.

Физические параметры оптических вспышек в предположении, что излучение имеет синхротронную природу, получены для максимумов и минимумов отдельных вспышек и приведены в табл. 2. Значения потока I_ν

в максимуме и минимуме каждой вспышки определялись с использованием значения UBV и калибровки Джонсона [30].

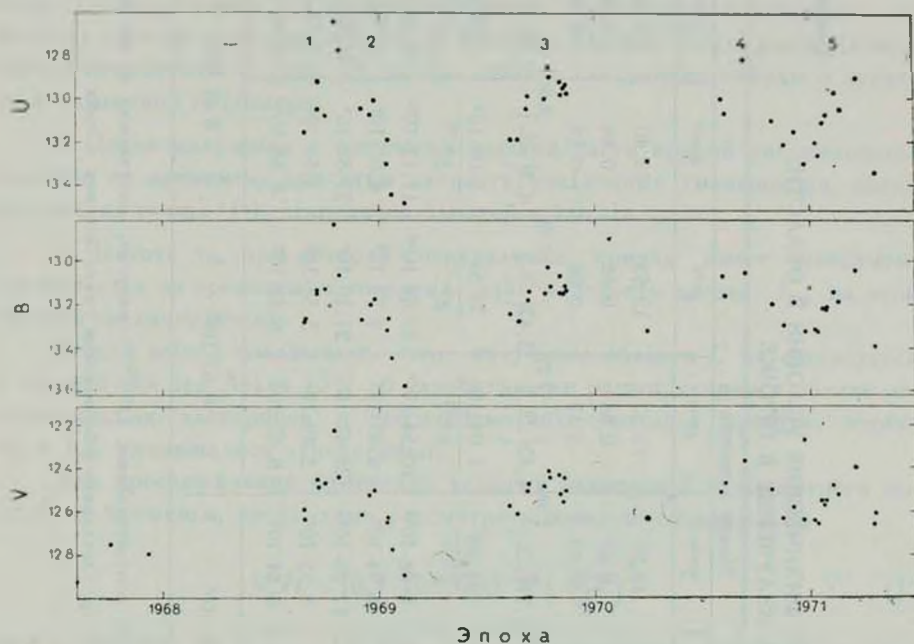


Рис. 4. UBV —наблюдения NGC 1275. Две точки до 1968 г. соответствуют наблюдениям Петерсона [26], остальные точки—наблюдениям Лютого [27, 28]. Числами 1—5 условно отмечены наблюдаемые вспышки.

Энергетические спектры релятивистских электронов, излучающих в оптической области (см. рис. 3), и полученные значения физических параметров показывают, что

1. Энергетические границы электронов E_1 и E_2 , их времена жизни t_{E_1} и t_{E_2} как в минимуме, так и в максимуме каждой вспышки приблизительно одинаковы. Следовательно, при каждой вспышке инжектируются электроны в одних и тех же энергетических пределах и отдельные вспышки отличаются друг от друга только по числу инжектированных электронов.

2. Энергетические спектры в максимуме можно отличить от энергетических спектров в минимуме только по числу инжектированных электронов. Необходимо отметить, что в минимуме плотность энергии (K) в единичном энергетическом интервале меняется больше, чем в максимуме. Возможно, что это является следствием наличия полугодовых изменений.

Необходимо также отметить, что энергия $\Delta F_{\text{набл.}}$, выделяемая во время вспышки над уровнем континуума (в интервале 3000—8000 Å), приблизительно одна и та же для разных вспышек.

Таблица 2

ПАРАМЕТРЫ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ОБЛАСТИ,
ОТВЕТСТВЕННОЙ ЗА ИЗЛУЧЕНИЕ В ОПТИКЕ

Параметр	Номер вспышки							
	1 ^{max}	1 ^{min}	2 ^{max}	2 ^{min}	4 ^{max}	4 ^{min}	5 ^{max}	5 ^{min}
V^m	12.23	12.64	12.52	12.90	12.37	12.63	12.40	12.66
$(B-V)^m$	0.61	0.66	0.66	0.68	0.64	0.66	0.64	0.66
$(U-B)^m$	-0.19	-0.14	-0.18	-0.09	-0.19	-0.08	-0.14	-0.06
$I_v \cdot 10^{26} \text{ вт/м}^2 \text{ мк}$	$5.02 \left(\frac{v_0}{v} \right)^{2.21}$	$3.44 \left(\frac{v_0}{v} \right)^{2.43}$	$3.85 \left(\frac{v_0}{v} \right)^{2.34}$	$2.71 \left(\frac{v_0}{v} \right)^{2.58}$	$4.42 \left(\frac{v_0}{v} \right)^{2.27}$	$3.42 \left(\frac{v_0}{v} \right)^{2.56}$	$4.3 \left(\frac{v_0}{v} \right)^{2.38}$	$3.38 \left(\frac{v_0}{v} \right)^{2.62}$
$N(E)$ (электроны/см ⁻³ эв ⁻¹)	$\frac{1.85 \cdot 10^3}{E^{5.52}}$	$\frac{2.20 \cdot 10^3}{E^{5.86}}$	$\frac{5.06 \cdot 10^3}{E^{5.68}}$	$\frac{51.68}{E^{6.16}}$	$\frac{1.01 \cdot 10^3}{E^{5.54}}$	$\frac{76.51}{E^{6.12}}$	$\frac{4.09 \cdot 10^3}{E^{5.76}}$	$\frac{19.16}{E^{6.24}}$
W_e (эрг)	$11.30 \cdot 10^{50}$	$9.22 \cdot 10^{50}$	$9.73 \cdot 10^{50}$	$8.08 \cdot 10^{50}$	$10.54 \cdot 10^{50}$	$10.04 \cdot 10^{50}$	$11.12 \cdot 10^{50}$	$10.35 \cdot 10^{50}$
E_1 (эв)	$6.9 \cdot 10^9$	$6.79 \cdot 10^9$	$6.82 \cdot 10^9$	$6.74 \cdot 10^9$	$6.85 \cdot 10^9$	$6.74 \cdot 10^9$	$6.81 \cdot 10^9$	$6.73 \cdot 10^9$
E_2 (эв)	$28.84 \cdot 10^9$	$27.88 \cdot 10^9$	$28.09 \cdot 10^9$	$27.06 \cdot 10^9$	$28.42 \cdot 10^9$	$27.10 \cdot 10^9$	$27.89 \cdot 10^9$	$26.84 \cdot 10^9$
t_{E_1} с	$3.47 \cdot 10^6$	$3.52 \cdot 10^6$	$3.51 \cdot 10^6$	$3.55 \cdot 10^6$	$3.49 \cdot 10^6$	$3.55 \cdot 10^6$	$3.51 \cdot 10^6$	$3.56 \cdot 10^6$
t_{E_2} с	$8.3 \cdot 10^5$	$8.58 \cdot 10^5$	$8.52 \cdot 10^5$	$8.84 \cdot 10^5$	$8.42 \cdot 10^5$	$8.83 \cdot 10^5$	$8.58 \cdot 10^5$	$8.91 \cdot 10^5$
$\Delta F_{\text{набл. эрл}}$	$0.41 \cdot 10^{50}$		$0.59 \cdot 10^{50}$		$0.67 \cdot 10^{50}$		$0.61 \cdot 10^{50}$	

t_{E_1} , t_{E_2} — времена жизни электронов с энергиями E_1 и E_2 соответственно; $\Delta F_{\text{набл.}}$ — энергия, излучаемая во время оптической вспышки над уровнем континуума; $v_0 = 5.45 \cdot 10^{14}$ ц. Остальные обозначения такие же, как в табл. 1.

3. *Переменность радиокомпоненты С.* При определении физических параметров, характеризующих оптическое излучение, существенное значение имеет величина магнитного поля. Поскольку использовалась величина H , определенная для радиокомпоненты С, необходимо рассмотреть изменение спектра этой компоненты во времени. Прежде всего, рассматривая спектр компоненты С (рис. 2), можно сделать следующие выводы о характере изменений ее спектра:

1. Поток излучения в оптически толстой части кривой увеличивается линейно со временем, при этом скорость увеличения уменьшается, когда оптическая толщина $\tau(\nu)$ становится близкой к 1.0.

2. Частота ν_m , при которой спектральная кривая имеет максимум, уменьшается со временем, в то время как плотность потока I_{ν_m} на этой частоте увеличивается.

Второй вывод показывает, что излучение области С не согласуется с теорией ван дер Лаана [31] об адиабатически расширяющемся облаке релятивистских электронов в магнитном поле, которое требует, чтобы ν_m и I_{ν_m} уменьшались одновременно.

Для прослеживания изменений угловых размеров θ и магнитного поля H со временем, необходимо рассмотреть поведение выражения

$$\theta^4/H = [8.9 \cdot 10^{21} F(\alpha)^{1/2}]^4 \left(\frac{I_{\nu_m}}{\nu_m^5} \right)^2, \quad (1)$$

при изменении ν_m и I_{ν_m} . Из рис. 2 можно определить значения ν_m , I_{ν_m} и величину спектрального индекса α для 1967 г., 1968 г. и 1972 г. Это дает возможность по формуле (1) рассчитать величину θ^4/H . Результаты расчета приведены в табл. 3. Необходимо отметить, что ν_m определяется не с высокой точностью, что приводит к относительно большой ошибке при

Таблица 3
ЗНАЧЕНИЯ ЧАСТОТЫ ν_m , ПОТОКА I_{ν_m} ,
СПЕКТРАЛЬНОГО ИНДЕКСА α И θ^4/H

Параметр	1967	1968	1972
ν_m мк	$1.6-2 \cdot 10^{10}$	$1.4-1.8 \cdot 10^{10}$	$1.12-1.26 \cdot 10^{10}$
I_{ν_m} f. U.	33.5	37.67	46.77
α	0.48	0.4	0.25
θ^4/H	$0.78 \cdot 10^{-11}$	$1.5 \cdot 10^{-11}$	$2.48 \cdot 10^{-11}$

определении θ^4/H . Мала также и точность при определении α из-за малого количества наблюдений в миллиметровом диапазоне и относительно большой ошибки измерений. Табл. 3 показывает, что величина θ^4/H увеличивается со временем. Формально это может произойти в нескольких случаях,

например, когда $\theta = \text{const}$, а H меняется; или $H = \text{const}$, а θ меняется и т. д. Если предположить, что размер компоненты C не меняется, т. е. остается таким же, как и в 1967 г., то в таком случае магнитное поле уменьшается примерно в 2—3 раза. В противном случае, если предположить, что магнитное поле остается постоянным, тогда согласно (1) в 1972 г. размеры компоненты C должны быть около $\theta = 0.0018$ и им соответствует скорость расширения примерно 4000—5000 км/сек. По-видимому, можно сказать, что магнитное поле H и размеры компоненты C не менялись существенно за период 1967—1972 гг. Однако, тем не менее, можно думать, что изменения v_m и $I_{\nu m}$ являются результатом непрерывного увеличения числа инжектированных электронов.

Софийский университет
им. Климента Охридского

OPTICAL OUTBURSTS IN SEYFERT GALAXY NGC 1275

Z. I. TSVETANOV, I. M. YANKULOVA

The results of radio-observations of NGC 1275 made in 1960—1973 that are available from literature are used, which occurred in the optical region of the UBV observations made by V. M. Lyuty. On these data the spectrum of the source in the interval 10^7 — 10^{15} Hz is given.

Considering the synchrotron nature of emission in the radio and optical regions, the physical parameters of the relativistic electrons are found.

Their energy distribution is also obtained. It is concluded that the optical outbursts differ from one another by the number of the injected electrons.

The energy density per unit energy interval at the minimum of the outbursts varies more than at the maximum. It is possible that these outbursts ($\sim 150^{\text{h}}$) may superpose on more prolonged (~ 1.5 year) variations.

For the period of 1960—1973 the frequency ν_m (at which the radiocomponent C has a maximum) decreases while the flux in this frequency increases, i. e. the observations do not agree with the van der Laan theory.

ЛИТЕРАТУРА

1. K. I. Kellermann, I. I. K. Paulini-Toth, *Ap. J.*, 152, 639, 1968.
2. R. J. Allen, A. H. Barret and P. P. Crowther, *Ap. J.*, 151, 43, 1968.
3. K. I. Kellermann, I. I. K. Paulini-Toth, W. C. Tyler, *A. J.*, 73, 298, 1968.
4. K. I. Kellerman, *A. J.*, 69, 205, 1964.
5. D. S. Heeschen, *Ap. J.*, 133, 322, 1961.
6. I. I. K. Paulini-Toth, K. I. Kellermann, *A. J.*, 73, 953, 1968.
7. K. I. Kellermann, I. I. K. Paulini-Toth, P. Williams, *Ap. J.*, 157, 1, 1969.
8. C. L. Berg, G. A. Seilstad, *A. J.*, 77, 810, 1972.
9. W. J. Medd, B. H. Andrew, J. L. Lock, *Mem. Roy. Astron.*, 77, 109, 1972.
10. W. J. Medd, J. L. Locke, B. H. Andrew, S. van der Bergh, *A. J.*, 73, 293, 1968.
11. W. A. Dent, *Ap. J.*, 144, 843, 1966.
12. H. D. Aller, *Ap. J.*, 161, 1, 1970.
13. W. A. Dent, G. Kojoian, *A. J.*, 77, 819, 1972.
14. A. E. E. Rogers, H. F. Hinteregger, A. R. Whitney, *Ap. J.*, 193, 293, 1974.
15. J. J. Wittels, C. A. Knight, I. I. Shapiro, H. F. Hinteregger, A. E. E. Rogers, A. R. Whitney, T. A. Clark, L. K. Hutton, G. E. Marandino, A. E. Niell, B. G. Rönning, O. E. H. Rydbeck, W. K. Klemperer W. W. Wurnock, *Ap. J.*, 196, 13, 1975.
16. L. H. Doherty, J. M. MacLeod, C. R. Purton, *A. J.*, 74, 827, 1969.
17. K. I. Kellermann, I. I. K. Paulini-Toth, *A. J.*, 78, 828, 1973.
18. R. W. Hobbs, H. H. Corbert, N. J. Santini, *Ap. J.*, 152, 43, 1968.
19. R. W. Hobbs, H. H. Corbert, N. J. Santini, *Ap. J.*, 156, L 15, 1969.
20. W. A. Dent, R. W. Hobbs, *A. J.*, 78, 163, 1973.
21. W. G. Fogarty, E. E. Epstein, J. W. Montgomery, M. M. Dworetzky, *A. J.*, 76, 537, 1971.
22. K. I. Kellermann, B. G. Clark, G. G. Bure, *Ap. J.*, 153, L209, 1968.
23. T. H. Legg, N. W. Broten, D. N. Fort, J. L. Yen, F. V. Bale, P. C. Barber, M. J. S. Quigley, *Nature*, 244, 18, 1973.
24. A. E. Niell, K. I. Kellermann, B. G. Clark, *Ap. J.*, 197, L109, 1975.
25. D. M. Selove, *Ap. J.*, 158, L19, 1969.
26. B. A. Peterson, *Ap. Lett.*, 3, 103, 1969.
27. В. М. Лютый, *Астрон. цирк.*, № 528, 1969.
28. В. М. Лютый, *Астрон. ж.*, 49, 930, 1972.
29. В. М. Лютый, В. И. Проник, *Variable Stars and Stellar Evolution*, IAU Symp. No. 67, 1975.
30. H. L. Johnson, *Com. L. P. L.*, 3, 73, 1965.
31. H. van der Laan, *Nature*, 213, 1131, 1966.
32. R. S. Roger, C. H. Costain, J. D. Lacey, *A. J.*, 74, 366, 1969.
33. W. C. Erickson, T. B. H. Kuiper, T. A. Clark, S. H. Knowles, J. J. Broaderick, *Ap. J.*, 177, 101, 1972.
34. D. E. Kleinman, F. J. Low, *Ap. J.*, 159, L165, 1970.
35. G. H. Rieke, F. J. Low, *Ap. J.*, 177, L115, 1972.