

**МГНОВЕННЫЕ СПЕКТРЫ ДЕВЯТИ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ  
ИСТОЧНИКОВ, ПОЛУЧЕННЫЕ НА РАДИОТЕЛЕСКОПЕ  
РАТАН-600, И ПЕРСПЕКТИВЫ ОБНАРУЖЕНИЯ  
В НИХ РЕКОМБИНАЦИОННЫХ ЛИНИЙ  
ВОЗБУЖДЕННОГО ВОДОРОДА В ПОГЛОЩЕНИИ**

*З. В. Дравских*

Приведены спектры девяти внегалактических источников, полученные на радиотелескопе РАТАН-600 одновременно на шести частотах (в диапазоне 1.35—31 см). На основании этих спектров выбраны наиболее подходящие кандидаты для поиска рекомбинационных линий возбужденного водорода в поглощении.

The spectra of 9 extragalactic sources are presented. They are obtained with the RATAN-600 simultaneously at 6 frequencies (in diapason 1.35—31 cm). Using these spectra the most suitable candidates for search for recombination lines of excited hydrogen in absorption are selected.

В работе [1] указывалось, что в компактных радиоисточниках, отождествляемых с галактиками и квазарами и имеющих спектры с точкой перегиба  $\nu_0$  в области сантиметровых волн, на этих волнах могут быть обнаружены рекомбинационные линии водорода в поглощении, если завал спектральной характеристики обусловлен поглощением синхротронного излучения компактного источника ионизованным водородом, расположенным около источника. Было показано, что линии надо искать в ярких источниках с точкой перегиба  $\nu_0$  в области высоких частот ( $> 5$  ГГц).

Самое трудное — не спутать эффект поглощения в зоне III вокруг ядра галактики (квазара) с эффектом самопоглощения оптически толстых синхротронных источников. Основные различия этих двух групп источников приведены в табл. 1, из которой видно, что «идеальным» для поиска рекомбинационных радиолний является источник с очень крутым завалом спектра ( $\alpha > 2.5$ ) на частотах ниже точки перегиба, с яркостной температурой  $T_b < 10^{12}$  К, не переменный, имеющий ощутимую линейную поляризацию.

В спектрах радиоисточников, приводимых в различных каталогах, спектральные плотности потоков на разных частотах, как правило, относятся к разным эпохам наблюдений, а так как компактные источники в большинстве являются переменными во времени, эти спектральные характеристики не являются истинными для какой-либо данной эпохи. Поэтому для выбора источников, подходящих для обнаружения рекомбинационных линий водорода в поглощении, необходимо иметь «мгновенный» спектр, т. е. иметь значения спектральных плотностей потоков на разных частотах, полученные одновременно. Возможность получать такие спектры дает радиотелескоп РАТАН-600. По каталогу [4] было отобрано 9 внегалактических источников, обладающих в большей или меньшей степени требуемыми характеристиками, из них 7 — квазизвездные источники 0106+01, 0229+13, 0420-01, 1244-255, 1641+39, 2121+05 и 2255-28, одна радиогалактика 3C111 и источник 1622-25, расположенный в направлении с сильным поглощением, так что его красное смещение неизвестно [5]. Для источников 1244-255, 1622-25 и 2255-28 не было измерений спектральной плотности потока в диапазоне 5—30 ГГц, а для источника 2121+05 спектральная плотность потока была измерена только до частоты 10.5 ГГц.

В первой декаде января 1982 г. на радиотелескопе РАТАН-600 получены «мгновенные» спектры этих источников одновременно на 6 частотах — 0.97,

ТАБЛИЦА 1

Характеристики источника	Источники с синхротронным самопоглощением (однородные, стационарные, с однородным магнитным полем, со степенным распределением электронов по энергиям)	Источники с тепловым поглощением в холодной плазме (зоне III)
Спектральная плотность потока на частотах $\nu < \nu_0$ [2]	$S \sim \nu^{2.5}$	1. $S \sim \nu^{\alpha} e^{-\nu_0 (\nu)^{2.1}} \sim \nu^{\alpha} e^{-\tau \nu}$ , если поглощающая плазма находится между источником и наблюдателем (спектр круче, чем 2.5) 2. $S \sim \nu^{\alpha+2}$ , если плазма в самом источнике
Яркостная температура $T_B$ , К в районе $\nu_0$	$\sim 10^{12}$	$< 10^{12}$
Переменность Поляризация на частотах $\nu < \nu_0$ [3]	Скорее всего, есть Слабая линейная, равная $\frac{3}{6\gamma + 13} \approx 10\%$ ( $\gamma$ — спектральный индекс в энергетическом спектре электронов). На частоте завала спектра степень поляризации равна нулю. Слабая круговая, на частоте $\nu \approx \nu_0$ степень поляризации равна нулю	Скорее всего, нет 1. Если плазма находится между синхротронным источником и наблюдателем, степень линейной поляризации, как в оптически тонком синхротронном источнике, $\frac{3\gamma + 3}{3\gamma + 7}$ и может достигать 70%, только позиционный угол вектора поляризации испытывает фарадеевское вращение 2. Если плазма в самом источнике, фарадеевское вращение может приводить к изменению степени поляризации, когда для излучений с разных уровней внутри источника углы поворота плоскости поляризации существенно различаются

3.66, 3.95, 7.70, 14.42, 21.74 ГГц, т. е. в диапазоне от 1.35 до 31 см. В качестве опорных источников использовались: на низких углах — источник 0237—23, на средних — 3С161 и 2128—05, на высоких — 3С286. Данные о радиометрах приведены в [6]. На волне 7.6 см (3.95 ГГц) использовался новый высокочувствительный радиометр ( $\delta T = 0.0025$  К при  $\tau = 1$  с и  $\Delta f = 0.5$  ГГц). Полученные на радиотелескопе РАТАН-600 спектры приведены на рис. 1 и в табл. 2 (крестиками отмечены спектральные плотности потоков из [4]). Большинство из них обнаруживает отличие от ранее полученных для других эпох. Спектральные плотности потоков на частотах  $\nu < \nu_0$  в основном подчиняются закону  $S \sim \nu^{\alpha+2}$ , т. е. случаю, когда плазма находится внутри источника синхротронного излучения. Из этих рисунков видно, что в источниках 0229+13, 0420—01, 1244—255 и 2255—28 можно ожидать линии поглощения в диапазоне 5—15 ГГц, а источник 1641+39 (3С345) может быть использован для исследования рекомбинационных линий в диапазоне 22 ГГц. Хотя источник 1622—25 и имеет подходящую спектральную характеристику, его красное смещение неизвестно, что затрудняет поиск рекомбинационных линий.

В табл. 3 приведены параметры ожидаемых линий водорода от всех этих источников и от двух деталей («5 ГГц» и «20 ГГц») в ядре сейфертовской галактики 3С84 ( $z = 0.018$  [4]), «мгновенный» спектр которой получен на радиотелескопе РАТАН-600 на эпоху 1981.8 [7] (рис. 2, в). Расчеты проведены для наблюдений на 100-м Эффельсбергском телескопе (ФРТ) в предположении, что разброс турбулентных скоростей в газовых оболочках около источников составляет  $\Delta v_t = 200$  км/с [8]. Из таблицы видно, что линии легко могут быть обнаружены в источниках 3С345 и 3С84. Структура обоих этих источников хорошо изучена

Т А Б Л И Ц А 2

$\nu$ , ГГц	0106+01		0229+13		3С111		0420-01		1244-25		1622-25		1641+39		2121+05		2255-28	
	S	$\delta S$	S	$\delta S$	S	$\delta S$	S	$\delta S$	S	$\delta S$	S	$\delta S$	S	$\delta S$	S	$\delta S$	S	$\delta S$
0.967	4.06	0.35	2.00	0.30	—	—	4.39	0.26	1.52	0.25	2.10	0.50	11.04	1.07	2.66	0.30	1.88	0.27
3.656	5.13	0.20	2.17	0.12	1.35	0.06	3.39	0.15	1.91	0.14	1.35	0.10	8.71	0.29	2.35	0.10	2.00	0.15
3.945	4.86	0.15	1.96	0.08	—	—	3.27	0.12	1.70	0.12	1.15	0.08	8.80	0.30	2.01	0.08	1.90	0.14
7.689	4.49	0.30	2.61	0.17	1.28	0.09	4.44	0.23	2.31	0.15	0.69	0.09	14.00	0.82	1.93	0.16	2.74	0.25
14.413	3.67	0.30	2.12	0.20	0.99	0.15	5.00	0.49	2.61	0.44	0.81	0.25	18.35	1.36	1.07	0.29	4.12	0.60
21.724	4.02	0.35	1.55	0.28	1.38	0.35	3.07	0.34	1.44	0.41	2.09	0.55	22.68	3.54	$\leq 0.40$	—	3.77	0.67

Пр и м е ч а н и е.  $\nu$  — частота наблюдений; S — спектральная плотность потока, Ян;  $\delta S$  — среднеквадратическая ошибка, Ян.

Т А Б Л И Ц А 3

Источник	z	$\nu_0$ , ГГц	$T_{\text{ант}}^{\text{н}}$ , К	Линия	$\nu_{\text{наб}}^{\text{д}}$ , ГГц	$\Delta\nu_{\text{наб}}^{\text{д}}$ , МГц	$T_{\text{ант}}^{\text{н}}$ , К	$\tau$ , с
0316+41 (3С84)	0.018	16	50	H66	21.9688 ± 0.0216	14.5	—0.39	0.5
		5	70	H110	4.7880 ± 0.0047	5.5	—0.37	1.5
0420-01	0.915	10	8.5	H70	9.8011 ± 0.0051	6.5	—0.18	5
1244-255	0.633	11	4.5	H74	9.7399 ± 0.0059	6.5	—0.03	154
1641+39 (3С345)	0.595	20	20	H57	24.6906 ± 0.0436	14.5	—0.50	0.5
		10	25	H74	9.9719 ± 0.0063	6.5	—0.97	0.2
2255-28	0.926	10	6	H69	10.4719 ± 0.0053	6.5	—0.07	30

Пр и м е ч а н и е. z — величина красного смещения;  $\nu_0$  — наблюдаемая частота точки перегиба;  $T_{\text{ант}}^{\text{н}}$  — ожидаемая антенная температура в непрерывном спектре;  $\nu_{\text{наб}}^{\text{д}}$  — наблюдаемая частота линии;  $\Delta\nu_{\text{наб}}^{\text{д}}$  — наблюдаемая доплеровская ширина линии;  $T_{\text{ант}}^{\text{н}}$  — ожидаемая антенная температура линии;  $\tau$  — постоянная времени наблюдений, необходимая для обнаружения линии при отношении сигнал/шум = 5;  $T_{\text{ш. экв}} = 100$  К, полосу анализа, равной доплеровской ширине линии для  $\Delta\nu_i = 200$  км/с и при условии, что все наблюдаемое в непрерывном спектре поглощение обусловлено ионизованным водородом.

с помощью интерферометрических измерений. Источник 3С345 — квазар с красным смещением  $z=0.595$  [9]. Излучение на волне 1.35 см в основном приходит из области  $\leq 0.''0001$  с яркостной температурой  $\sim 5 \cdot 10^{11}$  К [10]. Расчеты проведены для двух моделей (двухкомпонентной — рис. 2, а и трехкомпонентной — рис. 2, б [11, 12]) для детали с точкой перегиба в диапазоне  $\sim 20$  ГГц. Результаты для обеих моделей практически совпадают. Ядро галактики 3С84,

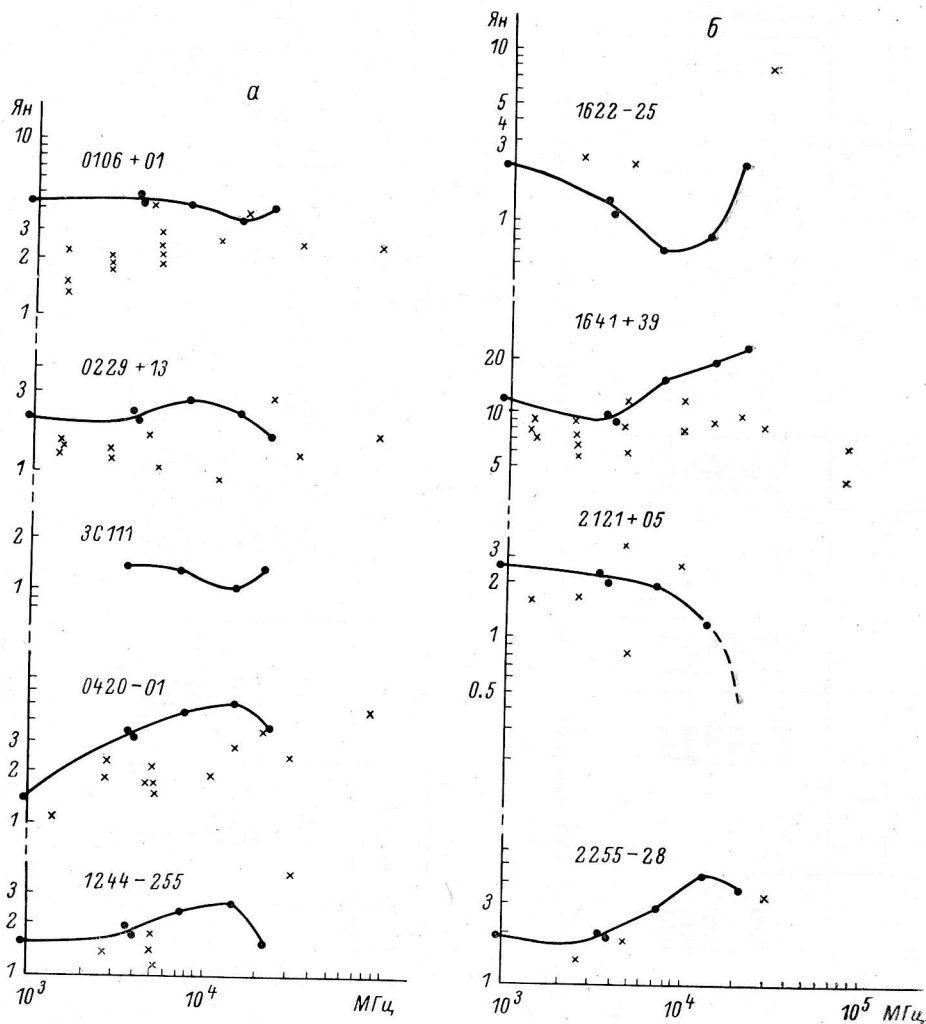


Рис. 1.

согласно [13], состоит из восточной и западной систем деталей с компонентами  $\leq 0.''0002$  и яркостной температурой  $\sim 7 \cdot 10^{11}$  К. Из наблюдений на 2.8 и 1.35 см восточная система имеет спектральный индекс  $\alpha \approx 4.5$ , что существенно больше спектрального индекса (2.5), обусловленного синхротронным самопоглощением. Наблюдаемое отличие спектрального индекса может быть связано с поглощением синхротронного излучения компонент этой детали тепловыми электронами. Оценена средняя плотность электронов поглощающей газовой оболочки  $N_e \approx (3 \div 7) \cdot 10^4$  см $^{-3}$ . Согласно спектральным оптическим данным [14], ядро 3С84 окружено газовой оболочкой с плотностью электронов  $N_e \approx 10^6$  см $^{-3}$ , т. е. из радио- и оптических наблюдений следует, что в ядре 3С84 имеется газовая оболочка.

Если поглощение ионизованным водородом составляет только часть наблюдаемого в континууме, время наблюдений должно быть соответственно увеличено. Уширение линий из-за штарк-эффекта незначительно.

Для наблюдений этих линий необходимы широкополосные спектрографы с полосами анализа 100 МГц и более, так как наблюдаемые частоты линий в диапазоне 1.35 см известны с точностью 15—20 МГц ( $z$  определено до третьего знака), а ширины линий по нулям  $\geq 30$  МГц.

Автор выражает благодарность Н. С. Соболевой, без которой эти наблюдения не могли быть выполнены, Ю. Н. Парийскому за постоянную помощь в работе, Н. Е. Гольневой и Г. В. Ефановой за помощь в обработке результатов, а также наблюдателям на РАТАНе.

### Литература

1. Дравских З. В., Парийский Ю. Н. О рекомбинационных линиях возбужденного водорода в компактных радиоисточниках, связанных с галактиками и квазарами. — *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)*, 1981, 58, с. 486—489.
2. Л е н г К. Астрофизические формулы. М.: Мир, 1978, ч. 1.
3. П а х о л ь ч и к А. Радиогалактики. М.: Мир, 1980.
4. A catalogue of radio sources / H. Kuhr, U. Nouber, I. I. K. Pauliny-Toth, A. Witzel. — *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 1981, 45, 3, p. 367—430.
5. Shimmings A. J., Bolton J. G. Flux densities at 8.87 GHz of 347 small-diameter radio sources. — *Austr. J. Phys.*, 1981, 34, p. 471—491.
6. М г н о в е н н ы й спектр ЗС84 по наблюдениям на 16 частотах на РАТАН-600 / А. Б. Берлин, В. Я. Гольнев и др. — *Письма в АЖ*, 1980, 6, № 10, с. 617—619.
7. Р а д и о с п е к т р ЗС84 на эпоху 1981.8 / В. М. Богод, М. Н. Наугольная и др. — *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)*, 1982, 17, с. 59—62.
8. Bell M. B., Seaquist E. R. Radio recombination line studies of M82 and other galaxies. — *Astrophys. J.*, 1978, 223, p. 378—385.
9. Buibidge G. R., Crowne A. H., Smith H. E. An optical catalogue of quasi-stellar objects. — *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 1977, 33, p. 113—188.
10. High resolution observations of the QSO 3C345 at 1.3 centimeters / I. I. K. Pauliny-Toth, K. I. Kellerman et al. — *Astrophys. J.*, 1981, 248, p. L123—L126.
11. The compact radio sources in 4C39.25 and 3C345 / D. B. Shaffer, K. I. Kellerman, G. H. Purcell et al. — *Astrophys. J.*, 1977, 218, p. 353—360.
12. Pauliny-Toth I. I. K. Compact radio sources. — In: *Origin of cosmic rays* / G. Setti, G. Spada, and A. W. Wolfendale (eds), 1981, p. 127—137.
13. С т р у к т у р а ядра сейфертовской галактики NGC 1275 / Л. И. Матвеевко, К. И. Келлерман и др. — *Письма в АЖ*, 1980, 6, № 2, с. 77—86.
14. Д и б а й Э. А. Некоторые свойства ядра радиогалактики NGC 1275 (Персей А). — *Астрон. ж.*, 1969, 46, с. 725—729.

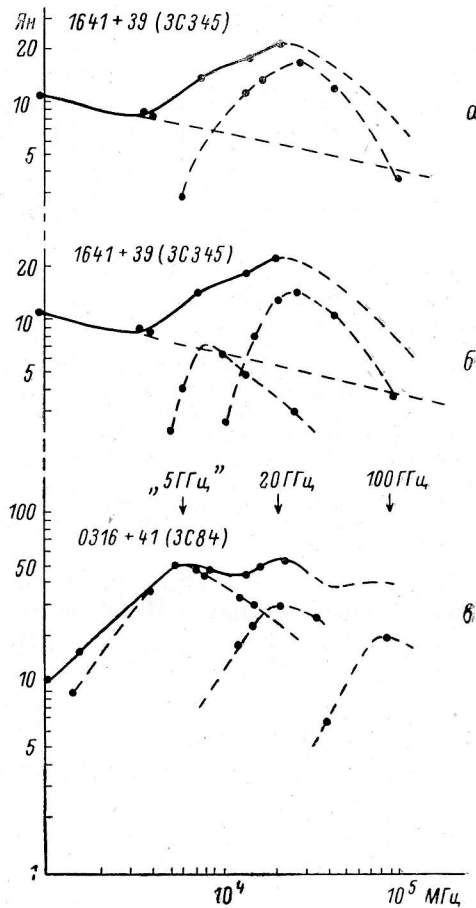


Рис. 2.

Поступила в редакцию 13.05.82