

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
АСТРОФИЗИКА

ТОМ 14

ФЕВРАЛЬ, 1978

ВЫПУСК 1

СПЕКТРЫ НЕКОТОРЫХ ПЕРЕМЕННЫХ РАДИОИСТОЧНИКОВ
ПО НАБЛЮДЕНИЯМ НА РАТАН-600

М. Г. МИНГАЛИЕВ, С. А. ПУСТИЛЬНИК, С. А. ТРУШКИН,
Р. М. КИРАКОСЯН, В. Г. МАЛУМЯН

Поступила 1 августа 1977

Пересмотрена 10 декабря 1977

По результатам наблюдений на радиотелескопе РАТАН-600 на волнах $\lambda \lambda$ 2.10, 3.9, 6.52, 13.0 см получены спектры некоторых переменных радиоисточников на эпохи 1976.25 и 1976.75. Обсуждается возможность применения полученных спектров для выбора оптимальных длин баз при наблюдениях на интерферометрах со сверхдлинными базами

Введение. В настоящее время одной из актуальных задач внегалактической радиоастрономии является исследование структуры компактных радиоисточников с помощью интерферометрии со сверхдлинными базами. Для выбора оптимальных баз интерферометра существенное значение имеет предварительная информация о порядке величин угловых размеров компактных компонентов на разных длинах волн.

Излучение компактных радиоисточников обычно интерпретируется в рамках некогерентного синхротронного механизма релятивистских электронов со степенным энергетическим спектром. Инверсионные участки спектров объясняются тогда самопоглощением на низких частотах (см., например, [1]). Угловой размер θ компактного компонента радиоисточника с красным смещением z связан в этом случае с максимальной плотностью потока S_m на частоте завала ν_m и величиной напряженности магнитного поля H [2]:

$$\theta \approx 14.4 (1+z)^{1/4} \nu_m^{-5/4} S_m^{1/2} H^{1/4}, \quad (1)$$

где θ в миллисекундах дуги, ν_m в гигагерцах, S_m в $\text{Ян} = 10^{-26}$ вт $\text{м}^2/\text{Гц}$,

H —в гауссах. Имея мгновенный спектр радиисточника, можно получить ориентировочную оценку на характерный размер компактного компонента.

С целью выяснения возможности такой оценки для дальнейших интерферометрических наблюдений, в 1976 г. были проведены два пробных цикла измерений мгновенных спектров нескольких переменных радиисточников. В этой программе участвовали два советских радиотелескопа РАТАН-600 (САО АН СССР) и РТ-22 (КРАО АН СССР) и несколько австралийских радиотелескопов. Диапазон длин волн, перекрываемый в этой программе: λ 1.35 ÷ 75 см.

В этой работе сообщается о результатах наблюдений, проведенных на РАТАН-600 в марте—апреле и сентябре 1976 г. В первом цикле получены трехточечные радиоспектры: (λ 2.08, 3.9 и 6.52 см), а во втором (в сентябре) — четырехточечные (λ 2.08, 3.9, 6.52 и 13.0 см).

Наблюдения. Аппаратура. Наблюдения проводились на северном секторе РАТАН-600 с помощью штатных радиометров [3, 4, 7] в два цикла: с 20 марта по 10 апреля и с 11 по 31 сентября 1976 г.

Для регистрации сигналов использовались модуляционные приемники прямого усиления на основе параметрических усилителей для измерений в сплошном спектре. Параметры приемников приведены в табл. 1.

Таблица 1

λ (см)	$T_{ш}$ (К)	Δf (мгц)	ΔT_A (К)
2.08	250	1400	0.03
3.9	80*	700	0.02
6.52	250	300	0.045
13.0	260	230	0.10

* — охлаждение азотом, $T_{ш}$ — шумовая температура приемника, Δf — полоса пропускания приемника, ΔT_A — чувствительность при постоянной времени низкочастотного фильтра 1 сек.

Следует отметить, что во втором цикле приемник на волне 3.9 см находился в расстроенном состоянии, так что его чувствительность составила 0.055°К.

Для наблюдений использовался режим прохождения источника через неподвижную диаграмму направленности. Полуширина диаграмм направленности в горизонтальной плоскости на волне λ 2.08 см изменяется от $\approx 12''$ в зените до $\approx 16''$ на горизонте.

С целью фильтрации флуктуаций радионизлучения атмосферы использовался двухлучевой прием (диаграммная модуляция) на волнах λ 2.08 и

7.3.9 см (разнос диаграмм 80" и 180" соответственно). При наблюдениях на волнах 6.52 и 13.0 см в качестве эквивалента антенны использовались опорные рупоры в небо.

Шумовая температура антенны на волнах λ 2.08, 3.9, 6.52 и 13.0 см соответственно равна на средних углах 30, 30, 40, 80°К [4].

Калибровка. Для калибровки антенны по плотности потока проводились наблюдения опорных источников с хорошо известными значениями плотностей потоков в сантиметровом диапазоне. В первом цикле в качестве опорных наблюдались ЗС 161 и ЗС 274, а во втором — ЗС 161, ЗС 218, ЗС 274, ЗС 286. Принятые значения плотностей потоков опорных источников приведены в табл. 2.

Таблица 2
ПЛОТНОСТИ ПОТОКОВ ОПОРНЫХ
ИСТОЧНИКОВ

Источник	2.08 см	3.9 см	6.52 см	13.0 см
ЗС 218	5.1	9.5	14.9	27.0
ЗС 161	2.5	4.6	7.2	12.2
ЗС 274	30.0	50.0	80.0	120.0
ЗС 286	3.4	5.5	7.5	11.0

Значения плотностей потоков приведены в $Ян = 10^{-26} \text{ вт/м}^2 \cdot \text{гц}$.

Ошибки измерений. Среднеквадратичная ошибка определения плотности потока в единичном наблюдении является суммой трех независимых величин:

$$\Delta S^2 = \Delta S_{\text{шум}}^2 + (a^2 + b^2) S^2.$$

Здесь $\Delta S_{\text{шум}}$ — ошибка, обусловленная шумами приемника и антенны, не зависящая от плотности потока. Ее оценка по порядку величины: на волне λ 2.08 см $\Delta S_{\text{шум}} \approx 0.2 Ян$, на волне λ 6.52 см $\Delta S_{\text{шум}} \approx 0.23 Ян$, на волне λ 13 см $\Delta S_{\text{шум}} \approx 0.45 Ян$. На волне λ 3.9 см в первом цикле $\Delta S_{\text{шум}} \approx 0.10 Ян$, а во втором чувствительность была хуже: $\Delta S_{\text{шум}} \approx 0.30 Ян$, $a \cdot S$ — ошибка, обусловленная погрешностью абсолютной калибровки, пропорциональна плотности потока. В первом цикле, из-за малого числа наблюдений опорных источников, эта ошибка была больше, чем во втором. Величина коэффициента a в первом цикле 0.10, 0.03 и 0.06 соответственно на волнах λ 2.08, 3.9 и 6.52 см. Во втором цикле на волнах λ 2.08, 3.9, 6.52 и 13.0 см коэффициент a равен соответственно: 0.04, 0.03, 0.03 и 0.05, $b \cdot S$ — ошибка, обусловленная инструментальными нестабильно-

стями — небольшими ошибками установки главного и вторичного зеркал, нестабильностью шумового генератора, используемого при измерении антенной температуры источника. Эту ошибку мы оценили по наблюдениям источника ЗС 273 в течение сентябрьского цикла: $b_1 = 0.04$ на $\lambda 2.08$, $b_2 = 0.027$ на $\lambda 3.9$, $b_3 = 0.06$ на $\lambda 6.52$, $b_4 = 0.06$ на $\lambda 13.0$ см.

Результаты. В первом цикле (эпоха 1976.25) наблюдались шесть объектов: ЗС 273, ЗС 279, ОJ 287, DA 237, PKS 1510—08, СИМ. 0528+13. В сводной табл. 3 приводятся средние за цикл значения плотностей потоков S_i , средне-квадратические ошибки плотностей потоков ΔS_i , а также число наблюдений n . Во втором цикле (эпоха 1976.75) к этим источникам было добавлено еще двенадцать. Результаты по семнадцати объектам сведены в табл. 4. На рис. 1, 2 приведены графики спектров плотностей потоков от источников, которые наблюдались в обоих циклах.

Таблица 3

СРЕДНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОТОКОВ ПЕРЕМЕННЫХ РАДИОИСТОЧНИКОВ
НА ЭПОХУ 1976.25

Источник	Другое название	Тип	2.08 см			3.9 см			6.52 см		
			S_i	ΔS_i	n	S_i	ΔS_i	n	S_i	ΔS_i	n
СИМ 0528+13	OG 147	SO	1.42	0.14	9	1.82	0.06	10	2.00	0.12	11
PKS 0735+17	DA 237	L	1.69	0.17	19	2.04	0.05	20	1.95	0.07	20
PKS 0851+20	OJ 287	L	2.36	0.27	20	2.45	0.09	20	2.21	0.13	19
PKS 1225+02	ЗС 273	Q	40.00	4.00	13	48.70	3.00	14	49.60	4.00	13
PKS 1253-05	ЗС 279	Q	14.10	1.41	19	14.45	0.87	19	13.75	1.98	19
PKS 1510-08		Q	2.59	0.26	18	2.65	0.16	18	2.76	0.22	17

Обнаружение Маркарян 509. Этот источник обнаружен из усреднения записей за 10, 11, 12 сентября на волне $\lambda 3.9$ см. Средняя плотность потока получилась равной 0.280 ± 0.062 Ян. Прямое восхождение источника, снятое по записи $\alpha_{\text{вид}} = 20^{\text{h}}42^{\text{m}}55^{\text{s}}.4 \pm 0^{\text{s}}.30$. По уточненным оптическим данным (Липовецкий, Афанасьев, частное сообщение) прямое восхождение $\alpha_{\text{вид}} = 20^{\text{h}}42^{\text{m}}54^{\text{s}}.5 \pm 0^{\text{s}}.60$. Видно, что данные по радионаблюдениям согласуются в пределах ошибок с оптическими данными.

На записях в другие дни источник в большинстве случаев не виден, что позволяет заподозрить переменность на волне $\lambda 3.9$ см. Для ее проверки необходимы более чувствительные измерения. На записях на волне $\lambda 13.0$ см источник обнаруживается только 11 и 12 сентября. Грубая оценка плотности потока $S(\lambda 13.0) \approx 0.6$ Ян. На записях на волне $\lambda 2.08$ см

Таблица 4

Источник	Другое название	Тип	2.08 см			3.9 см			6.52 см			13 см		
			S_v	ΔS_v	n	S_v	ΔS_v	n	S_v	ΔS_v	n	S_v	ΔS_v	n
PKS 0048-097	OB-080	L	1.40	0.08	15	1.45	0.08	15	1.43	0.07	10	1.20	0.15	5
PKS 0139-097	OC-065	L	0.85	0.07	15	0.82	0.07	16	0.58	0.08	10	0.75	0.12	7
АО 0235+164		L	2.87	0.15	10	3.33	0.12	10	3.28	0.17	5	2.47	0.19	5
PKS 0430+05	3C 120	G	6.14	0.27	10	7.85	0.23	10	7.74	0.35	6	7.40	0.44	4
СИМ 0528+13	OG 147	SO	1.10	0.10	7	1.71	0.15	8	1.84	0.20	5	2.80	0.27	2
PKS 0735+17	DA 237	L	1.64	0.15	5	2.11	0.10	5	1.99	0.10	3	2.20	0.26	2
PKS 0851+20	OJ 287	L	2.17	0.11	17	2.25	0.08	17	2.16	0.15	6	2.74	0.18	6
PKS 1226+02	3C 273	Q	37.67	1.53	12	46.52	1.44	13	47.05	1.98	7	42.40	2.30	6
PKS 1253-05	3C 279	Q	14.40	0.75	11	16.20	0.58	11	15.21	0.53	5	9.33	0.60	3
PKS 1510-08		Q	2.07	0.14	15	2.59	0.11	15	2.18	0.12	9	2.40	0.18	5
PKS 1730-13	NRAO 530	SO	4.95	0.27	6	5.46	0.23	6	5.39	0.15	3	4.80	0.34	3
PKS 2134+004	OX 057	Q	8.59	0.30	7	10.91	0.31	7	11.60	0.45	2	5.04	0.32	5
PKS 2145+06	4C+06.69	Q	2.63	0.08	4	3.12	0.13	4	3.37	0.11	2	2.62	0.24	2
PKS 2216-03	4C-03.79	Q	3.72	0.40	3	3.50	0.11	3	2.55	0.25	2	1.45	0.17	2
PSK 2223-05	3C 446	Q	4.15	0.30	4	4.70	0.24	4	4.71	0.20	2	4.85	0.38	2
PKS 2251+15	3C 454.3	Q	5.91	0.21	5	8.81	0.22	5	10.08	0.69	2	9.93	0.62	3
PKS 2254+07	OY 091	L	0.82	0.11	7	0.96	0.07	7	0.98	0.09	5	1.28	0.18	3

L — объекты типа BL-Lac; G — галактики; SO — звездообразный объект с неисследованным оптическим спектром; Q — квазары.

источник не обнаружен, но можно наложить верхний предел на плотность потока в этом цикле

$$S_{\nu}(\lambda 2.08) < 0.3 \text{ Ян.}$$

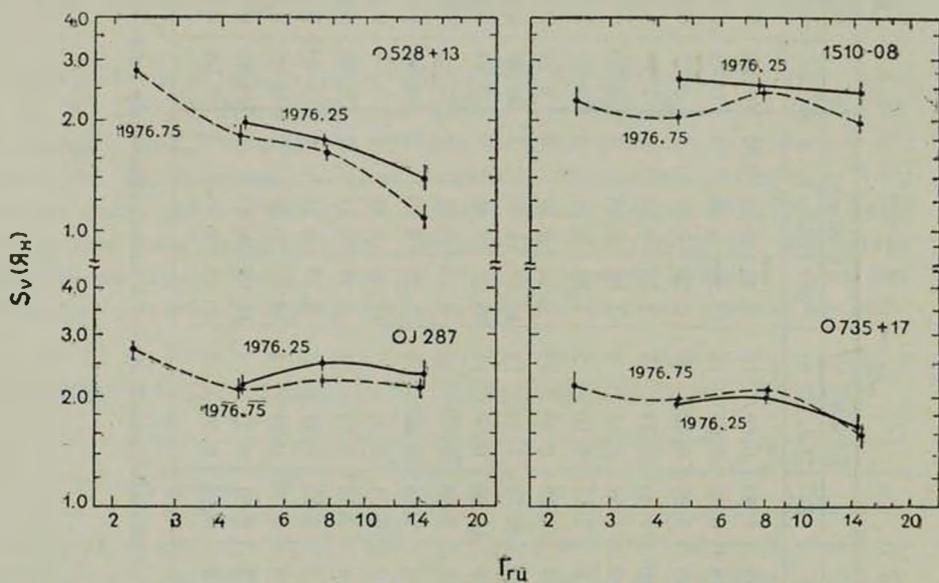


Рис. 1.

Обсуждение. Одной из целей этой работы было опробование возможностей оценивать угловые размеры компактных радиокомпонентов по структуре мгновенного радиоспектра. Попытаемся проиллюстрировать эту возможность, используя полученные спектры. Одним из наиболее ярко выраженных спектров с низкочастотным завалом в сантиметровом диапазоне (из полученных в наших наблюдениях) обладает квазар PKS 2134+004. Для того, чтобы сделать оценку углового размера с точностью до фактора 3, положим в формуле (1) для компактного радиокомпонента поле $H = 10^{-3}$ гс, что является средним для диапазона значений $10^{-5} - 10^{-1}$ гс, принимаемых обычно для поля в компактных радиокомпонентах внегалактических объектов. Подстановка в формулу (1) значений $\nu_m = 4 \text{ ГГц}$ и $S_m = 11 \text{ Ян}$, $z = 1.9$ дает $\theta \approx 0.002$ для радиокомпонента, дающего основной вклад вблизи частоты максимума. Наблюдения со сверхдлинными базами на волне $\lambda 2.8$ см, проведенные в 1974 г. [5], показывают, что компонент с размером такого порядка действительно существует в этом радиисточнике.

Аналогично, используя наш спектр квазара ЗС 279, получим оценку для углового размера одного из компонентов: $\theta = 0.0008$, что довольно близко к измеренному в наблюдениях со сверхдлинными базами [6].

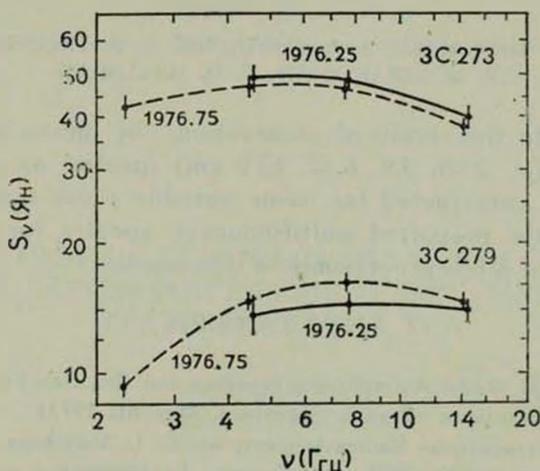


Рис. 2.

На другую интересную возможность указывают нам спектры, полученные в эпохи, разнесенные на полгода. Оказывается, что для некоторых источников (ЗС 273, ЗС 279 и др.) можно, опираясь лишь на данные наших наблюдений, определить характерное время вековой переменности: $\tau = 2 \div 10$ лет. При наблюдениях лишь на одной частоте для получения этого результата потребовалось бы проводить гораздо больше наблюдений.

В заключение естественно отметить, что приведенные здесь результаты наблюдений являются лишь частью полученных в кооперативной программе наблюдений спектров переменных радиоисточников в диапазоне волн от λ 1.35 см до λ 75 см. Подключение этих результатов к результатам синхронных наблюдений как на более коротких, так и на более длинных волнах позволит выявить присутствие нескольких радиокомпонентов и даст возможность провести более детальный астрофизический анализ.

Авторы выражают глубокую благодарность Ю. Н. Парийскому за поддержку этой работы и многочисленные ценные советы и В. М. Панину за помощь в наблюдениях. Авторы благодарны также сотрудникам лаборатории А. Б. Берлина, поддерживавшим аппаратуру в хорошем состоянии.

Специальная астрофизическая
обсерватория АН СССР

Институт радиопизики и
электроники АН АрмССР

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

СПЕКТРА OF SOME VARIABLE RADIO SOURCES
ACCORDING TO OBSERVATIONS BY MEANS
OF RATAN-600 RADIOTELESCOPE

M. G. MINGALIEV, S. A. PUSTIL'NIK, S. A. TRUSHKIN,
R. M. KIRAKOSIAN, V. H. MALUMIAN

According to the results of observations by means of RATAN-600 radiotelescope (λ 2.08, 3.9, 6.52, 13.0 cm) spectra on epochs 1976.25 and 1976.75 are constructed for some variable radio sources. The possibility to use the presented multifrequency spectra for optimal choice of baselengths in VLBI-programmes is discussed.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. G. Pacholczyk, Radio Astrophysics, Freeman and Co., San Francisco, 1970. (русск. пер. Пахольчик «Радиоастрофизика», Мир, М., 1973).
2. Galactic and Extragalactic Radioastronomy, eds. G. L. Verschuur and K. I. Kellerman, Springer Verlag, 1974. (русск. пер.: „Галактическая и внегалактическая радиоастрономия“, Мир, М., 1971).
3. С. Э. Хайкин, Н. А. Кайдановский, Ю. Н. Парийский, Н. А. Есепкина, Изв. ГАО, № 188, 3, 1972.
4. Ю. Н. Парийский, О. Н. Шиврис, Д. В. Корольков, А. Б. Берлин, Н. А. Кайдановский, Н. А. Есепкина, Ю. К. Зверев, А. И. Копылов, Э. И. Коркин, А. П. Лавров, Н. С. Соболева, А. А. Стоцкий, Радиофизика, 19, № 11, 1581, 1976.
5. R. T. Schilizzi, M. H. Cohen, J. D. Romney, D. B. Shaffer, K. I. Kellerman, G. W. Swenson, J. L. Yen, R. Rinehart, Ap. J., 204, 263, 1975.
6. A. E. Niell, K. I. Kellermann, B. G. Clark, D. B. Shaffer, Ap. J., 197, L 109, 1975.
7. Р. М. Киракосян, К. С. Мосоян, О. Б. Петросян, В. Г. Геворкян, Сообщ. САО, № 12, 65, 1974.