

СПЕКТР РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ОСТАТКА СВЕРХНОВОЙ G74.9+1.2

© 2023 г. В. П. Иванов^{1,*}, А. В. Ипатов¹, И. А. Рахимов¹, Т. С. Андреева¹¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной астрономии Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: ivanov_vp41@mail.ru

Поступила в редакцию 06.06.2023 г.

После доработки 07.08.2023 г.

Принята к публикации 28.08.2023 г.

Измерения плотностей потоков остатка сверхновой (SNR) G74.9+1.2 = CTB 87 на частотах 4840 и 8450 МГц выполнены на радиотелескопе РТ-32 обсерватории Светлое ИПА РАН в 2018–2019 гг. Полученные данные содержат признаки наличия в радиоизлучении источника переменной составляющей на временном масштабе от месяца и более. Плотности потоков G74.9+1.2 на временном интервале 1959.7–2010 определены по опубликованным данным, позволяющим сравнить интенсивности G74.9+1.2 и стандартных источников. Все данные приведены в единую систему на основе точной шкалы потоков “искусственная луна” (ИЛ). Получен уточненный спектр SNR G74.9+1.2. Совокупность имеющихся данных аппроксимируется двумя степенными участками с разными спектральными индексами: $\alpha_1 = 0.31$ на частотах $f < f_b$ и $\alpha_2 = 0.71$ при $f > f_b$. Проекция двух степенных участков пересекаются на частоте $f_b \approx 3409$ МГц. Излом в радиоспектре источника с возрастом более 4000 лет мог сформироваться в результате синхротронных потерь. В пользу этого допущения свидетельствует увеличение наклона спектра примерно на 0.5 на частотах выше f_b . Совокупность данных, полученных при измерениях на РТ-32 и на основе опубликованных работ, позволяет утверждать, что переменная составляющая в радиоизлучении G74.9+1.2 на всех временных шкалах значительно менее выражена по сравнению с более молодыми PWN. В качестве возможного механизма наблюдаемой переменности предлагается пере замыкание силовых линий магнитного поля в магнитосфере пульсара.

Ключевые слова: остаток сверхновой, плерион, ударная волна, радиотелескоп**DOI:** 10.31857/S0004629923100067, **EDN:** XLVTSS

1. ВВЕДЕНИЕ

G74.9+1.2 = CTB 87 был классифицирован как остаток сверхновой (SNR) типа F (плерион, туманность пульсарного ветра PWN) на основании центрально заполненной морфологии, отсутствия оболочки и линейно поляризованного радиопотока. По данным [1], в радиодиапазоне G74.9+1.2 имеет размер $8' \times 6'$ и плотность потока 9 Ян на частоте 1 ГГц, расстояние до SNR G74.9+1.2 оценивается в 6.1 кпк. Плотности потоков излучения этого источника, измеренные на частотах $f = 0.408$ и 1.4 ГГц, соответствуют плоскому радиоспектру со спектральным индексом $\alpha = 0.32$, $S(f) \sim f^{-\alpha}$; обнаружена линейная поляризация [2]. Рентгеновские наблюдения со спутника Эйнштейн определили G74.9+1.2 как плерион с рентгеновской светимостью почти в 100 раз слабее Крабовидной туманности в диапазоне 0.15–3 кэВ [3]. По данным наблюдений обсерватории Чандра, рентгеновское изображение G74.9+1.2 в диапазоне 0.3–7.0 кэВ состоит из яр-

кой центральной почкообразной части, “сидящей” на диффузном протяженном источнике. На пике рентгеновского излучения обнаружен точечный источник – предполагаемый пульсар [4]. По данным [4] пик рентгеновского излучения смещен от пика радиоизлучения на $\sim 100''$ и расположен на юго-восточном крае радиотуманности. При отсутствии оболочки, возраст SNR G74.9+1.2 был оценен по смещению предполагаемого пульсара относительно центра радиотуманности. Предполагая, что в момент рождения пульсара его положение совпадало с центром современной радиотуманности, а скорость движения перпендикулярно лучу зрения близка к среднему значению для пульсаров с измеренными скоростями, то при известном расстоянии возраст объекта оценен в пределах ~ 5 –28 тыс. лет [4].

Альтернативное объяснение морфологии источника основано на предположении, что PWN испытала воздействие обратной ударной волны (ОУВ), изменившее ее форму. В этом случае вза-

имное расположение пульсара и радиотуманности не отражает возраст SNR. Однако ОУВ может достигнуть центра SNR $G74.9+1.2$ не ранее 4 тыс. лет после взрыва [4]. При большой неопределенности обеих оценок, очевидно, что $G74.9+1.2$ представляет собой существенно проэволюционировавшую PWN.

Исследования γ -лучей области возле CTB 87 с помощью телескопа Milagro привели к обнаружению неразрешенного источника, MGRO J2019+37 [5], который был дополнительно изучен и разрешен в проекте Veritas. Источник VERITAS, VER J2016+372, показал отсутствие изменчивости на протяжении всех наблюдений и спектр, аналогичный другим PWNe, ранее обнаруженным в полосе очень высоких энергий (VHE) [6]. Наконец, телескоп им. Ферми обнаружил высокоэнергетический источник, 2FGL 2015.6+3709, который, как было обнаружено, мог быть переменным, и поэтому физическая связь с CTB 87 была сочтена маловероятной [7].

В спектрах радиоизлучения молодых плерионов и комбинированных SNR присутствует быстрая переменная составляющая (см. [8] и ссылки в ней). Подобные исследования эволюционно продвинутого SNR $G74.9+1.2$ представляют очевидный интерес.

2. ИЗМЕРЕНИЯ НА РАДИОТЕЛЕСКОПЕ РТ-32 ОБСЕРВАТОРИИ СВЕТЛОЕ ИПА РАН

Плотности потоков SNR $G74.9+1.2$ измеряются относительно стандартов шкалы потоков ИЛ [9] на радиотелескопе РТ-32 обсерватории Светлое ИПА РАН с конца 2017 г.

Параметры полноповоротного параболического радиотелескопа РТ-32 диаметром 32 м обсерватории Светлое ИПА РАН приведены в табл. 1 (см. также [10–12]).

Плотности потоков исследуемых источников измерены относительно источников — стандартов шкалы потоков ИЛ [9]. Шкала потоков ИЛ базируется на абсолютных измерениях по методу “искусственной луны”, превосходящему по точности другие методы и включает в себя более 15 стандартных источников со спектрами, перекрывающими диапазон частот 38 МГц–200 ГГц. Существенным отличием от других шкал и преимуществом шкалы ИЛ является независимый от абсолютных измерений контроль формы спектров источников (метод относительных спектров). Шкала потоков ИЛ адаптирована на частоты до 200 ГГц и более на основе стандартного спектра Крабовидной туманности. Спектры Крабовидной туманности многократно и подробно измерялись методом “искусственной луны” в диапазоне частот 0.5–15 ГГц на временном интервале 1972.2–1992.7, а также определе-

Таблица 1. Параметры радиотелескопа РТ-32 обсерватории Светлое ИПА РАН

f , МГц	$T_{\text{пр}}$, К	$T_{\text{ша}}$, К	$T_{\text{сис}}$, К	Δf , МГц	КИП	HPBW, '
1550	10	38	48	450	0.6	21.9
2370	10	37	50	450	0.48	14.6
4840	10	23	33	1000	0.6	6.96
8450	12	27	39	1000	0.56	3.94

Примечание. Приведены: f — частота; $T_{\text{пр}}$ — шумовая температура входа приемника; $T_{\text{ша}}$ — шумовая температура антенны; $T_{\text{сис}}$ — шумовая температура системы; Δf — полоса пропускания приемника; КИП — коэффициент использования поверхности; HPBW — ширина диаграммы направленности на уровне 0.5 по мощности. Поляризация всех облучателей круговая.

ны в шкале потоков ИЛ по данным относительных измерений на 1955–1981 гг. в диапазоне частот (0.1–23) ГГц [13]. Эти спектры степенные, и на основе метода относительных спектров показано, что степенной закон выполняется, по крайней мере, до 200 000 МГц:

$$S(f) = S_0 \left(\frac{f}{f_0} \right)^{-\alpha}, \quad (1)$$

где $S(f)$ [Ян] — плотность потока на частоте f [МГц]; S_0 [Ян] — параметр, равный плотности потока на частоте f_0 [МГц]; α — спектральный индекс. Среднее значение $\alpha = 0.327 \pm 0.002$ и не зависит от времени. Плотности потоков убывают равномерно по спектру со скоростью $\frac{dS}{Sdt} \times 100 = (-0.159 \pm 0.024) \text{ \%}/\text{год}$; $S_0 = (937 \pm 22) \text{ Ян}$ на частоте $f_0 = 1 \text{ ГГц}$ на эпоху 1992.7.

Основным стандартом шкалы потоков ИЛ является внегалактический источник 3C295. Он имеет стабильное на волнах длиннее 1 см радиоизлучение и угловые размеры $5'' \times 1''$ [14]. В шкале потоков ИЛ спектр 3C295 в диапазоне частот 1425–8450 МГц определяется степенной функцией (1) с параметрами: $\alpha = 1.007$; $S_0 = 8.249 \text{ Ян}$ на частоте $f_0 = 3500 \text{ МГц}$. На радиотелескопе РТ-32 измеряются отношения плотностей потоков исследуемых источников и стандартов шкалы потоков ИЛ на 4-х частотах: 1550, 2370, 4840, 8450 МГц. Абсолютные плотности потоков SNR получены по измеренным отношениям потоков SNR и стандартов шкалы ИЛ.

Погрешности измерений включают среднеквадратичное отклонение отношений пиковых антенных температур, которое на всех частотах не превышало 1.3%, а также погрешности поправок за частичное разрешение $G74.9+1.2$ диаграммой направленности (ДН) антенны. Методика опре-

деления поправок аналогична применявшейся нами ранее (см., напр., [9]). Выполняются сканы в двух ортогональных направлениях вдоль большой и малой осей источника, профили антенных температур аппроксимируются гауссианами, и их ширина сравнивается с шириной ДН. Поправочный коэффициент находится из выражения:

$$g = \sqrt{1 + \left(\frac{\theta_{u1}}{\theta_{0.5}}\right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{\theta_{u2}}{\theta_{0.5}}\right)^2},$$

где θ_{u1} и θ_{u2} — ширины гауссиан на уровне $0.5T_{a \max}$ вдоль большой и малой осей источника соответственно; $T_{a \max}$ — максимальное значение антенной температуры в пределах скана; $\theta_{0.5}$ — ширина диаграммы направленности на уровне 0.5 мощности при совпадении значений $\theta_{0.5} = \theta_{0.5A} = \theta_{0.5h}$ в угломестной и азимутальной плоскостях, что выполняется в нашем случае.

Погрешность коррекции за разрешение источника зависит от разности профилей антенной температуры скана и аппроксимирующей гауссианы. В случае G74.9+1.2 из записей сканов удален вклад точечного источника 2013 + 370, после чего профили сканов вдоль обеих осей мало отличаются от гауссиан. Погрешность поправки, максимальная для волны $\lambda = 3.5$ см, не превышает 5%. Профили определялись путем усреднения двух противоположно направленных сканов. При наблюдениях применялась методика “on-off”, и направление позиционного угла источника при наведении на него антенны с круговой поляризацией и круговой симметрией луча поправок не требует. Коррекция за атмосферное поглощение вводилась в виде множителя e^{γ} , где $\gamma = A_{\lambda}/\sin(h)$, h — угол места (высота) антенны. Для волн 18, 13, 6.2 и 3.5 см A_{λ} составляет 0.01, 0.011, 0.012 и 0.013 соответственно.

На волнах $\lambda > 6$ см спектр наблюдавшегося на PT-32 SNR G74.9+1.2 имеет спектральный индекс $\alpha \leq 0.31$. Различие спектральных индексов может быть причиной погрешности определения плотности потока SNR при сравнении со стандартом. Эта погрешность зависит от отношения $\Delta f/f$ и может быть устранена путем коррекции. В нашем случае максимальное значение корректирующего множителя не превышает 1.006 и поправки не вводились.

Измерения плотностей потоков G74.9+1.2 выполнены на частотах 4840 и 8450 МГц между декабрем 2017 г. и октябрем 2019 г. На обеих частотах измерения повторялись с целью выявления изменений в излучении источника. Плотности потоков G74.9+1.2, измеренные между эпохами 2017.95–2019.85 в шкале потоков ИЛ, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Плотности потоков SNR G74.9+1.2 по данным измерений на радиотелескопе PT-32

№	Epoch	f , МГц	n	S , Ян	σ , Ян
1	2017.95	4840	3	5.19	0.47
2	2017.99	4840	6	5.48	0.09
3	2018.03	4840	11	5.10	0.18
4	2018.21	8450	7	3.01	0.05
5	2018.24	8450	2	2.58	0.06
6	2018.26	8450	8	2.82	0.09
7	2018.26	4840	13	5.56	0.07
8	2018.28	4840	3	5.25	0.12
9	2018.34	4840	2	5.29	0.13
10	2018.38	8450	3	2.89	0.03
11	2018.39	4840	3	5.41	0.21
12	2018.39	8450	2	2.71	0.16
13	2018.40	4840	4	5.16	0.07
14	2018.56	4840	12	5.40	0.15
15	2018.57	8450	8	2.87	0.11
16	2018.74	8450	5	3.06	0.09
17	2018.74	4840	5	6.16	0.52
18	2018.77	8450	6	2.96	0.08
19	2018.78	8450	6	2.83	0.09
20	2018.80	4840	4	5.60	0.24
21	2018.81	4840	6	5.31	0.19
22	2018.89	4840	4	6.02	0.43
23	2018.97	4840	5	5.32	0.13
24	2019.09	8450	6	3.85	0.17
25	2019.26	8450	8	2.87	0.06
26	2019.29	4840	10	5.22	0.09
27	2019.37	8450	5	2.64	0.06
28	2019.47	8450	7	2.78	0.16
29	2019.55	8450	11	2.72	0.09
30	2019.58	4840	4	5.06	0.16
31	2019.66	4840	4	4.99	0.27
32	2019.84	4840	7	5.42	0.13
33	2019.85	4840	3	5.04	0.01

Примечание. Epoch — эпоха измерений; f — частота измерений; n — число измерений, S — среднее значение измеренной плотности потока, σ — стандартное отклонение S .

При изучении быстрой переменности источника постоянные систематические погрешности не играют существенной роли. Поскольку все измерения выполнены на одном радиотелескопе с неизменными приемниками, в табл. 2 приведены только случайные погрешности.

В результате многократных измерений обнаружены признаки переменности источника. На рис. 1 показана зависимость от времени плотно-

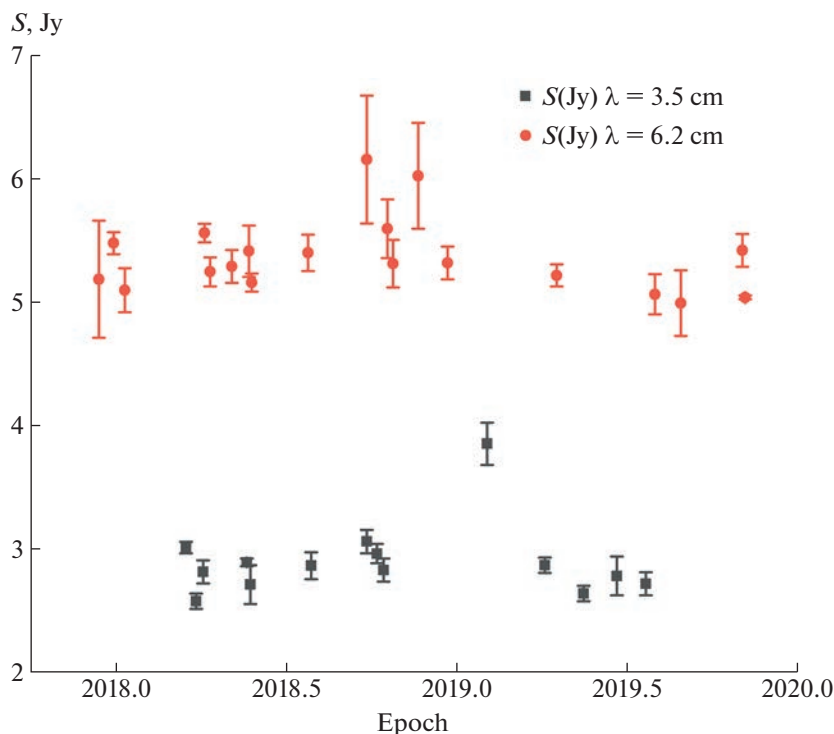


Рис. 1. Плотности потоков SNR G74.9+1.2 на частотах 4840 MHz ($\lambda = 6.2$ см) и 8450 MHz ($\lambda = 3.5$ см) в зависимости от времени.

стей потоков G74.9+1.2 на волнах $\lambda = 6.2$ см и $\lambda = 3.5$ см.

Измерения интенсивности на волне $\lambda = 6.2$ см на рис. 1 содержат быстрые нарастания интенсивности на 17% (1.7σ) и 15% (1.8σ) в интервале эпох 2018.81 ± 0.075 при увеличении дисперсии данных в промежутке времени одного измерения (2–3 дня). Скачок интенсивности на волне $\lambda = 3.5$ см наблюдался в эпоху 2019.09. Плотность потока превысила в этой точке средний уровень на 36% (5.6σ). Задержка относительно $\lambda = 6.2$ см составила 0.03 года. Быстрые изменения наблюдались на фоне плавных медленных изменений потока на временных интервалах порядка года, взаимно коррелированных на волнах $\lambda = 6.2$ и 3.5 см. Ранее возможная связь быстрых изменений интенсивности радиоизлучения плерионов с переизменением магнитных силовых линий обсуждалась нами в [8].

Плотности потоков G74.9+1.2 в течение 1967–2010 гг. получены на основе опубликованных данных, позволяющих сравнить интенсивности G74.9+1.2 и стандартных источников. Для приведения всех данных в единую систему и определения спектра использовалась шкала потоков “искусственная луна” (ИЛ) [9]. Для определения уточненного спектра SNR G74.9+1.2, а также оценки его временных изменений, в настоящей

работе использовалась совокупность измерений, выполненных на радиотелескопе РТ-32, и опубликованных данных, приведенных к шкале потоков ИЛ.

3. СПЕКТР SNR G74.9+1.2

Важнейшим условием адекватного решения задачи отображения изменений в спектрах исследуемых источников является сведение всех имеющихся данных сравнения потоков излучения этих объектов со стандартами в единую систему на основе прецизионной шкалы потоков. Шкала потоков BGPW для этой цели не пригодна вследствие причин, обсуждаемых в работе [9], но задача решается на основе шкалы потоков ИЛ.

Таблица 3 содержит плотности потоков G74.9+1.2, полученные на основе опубликованных данных, приведенных к шкале потоков ИЛ, а также измеренные на радиотелескопе РТ-32. Отметим, что погрешности измерений, указанные в опубликованных работах, содержат неопределенность абсолютной привязки, вклад которой значителен. При переводе этих данных в шкалу потоков ИЛ погрешности должны снижаться из-за устранения этой составляющей, но ввиду ее неопределенности, погрешности были сохранены.

Спектр G74.9+1.2, полученный на основе приведенных к шкале потоков ИЛ опубликованных

Таблица 3. Плотности потоков SNR G74.9+1.2 по опубликованным данным, приведенным к шкале потоков ИЛ, и измеренные на радиотелескопе РТ-32

f , МГц	S_p , Ян	Err, Ян	Ref. source	k	Epoch	Sam	Err(Sam)	Ref.
408	11.4	1	Sample	0.97	1970.86	10.05	0.97	[15]
408	13.3	0.8	3C147, 295	0.91	1985.58	12.06	0.73	[16]
408	11.6	0.4	3C147, 295	0.91	1986.66	10.51	0.36	[17]
408	11.5	0.7	3C48, 147, 286, 295	0.90	1994.45	10.39	0.63	[2]
408	11.9	0.9	3C48, 147, 286, 295	0.90	2002	10.75	0.81	[18]
610	9.1	1.2	3C48, 147	0.94	1976.57	8.53	1.12	[19]
960	10	2	VirA	0.93	1959.7	8.33	1.87	[20]
1415	8	1.5	3C48, 147	0.93	1973.95	7.42	1.39	[21]
1415	8.7	1.2	3C48, 147	0.93	1975.51	8.06	1.11	[19]
1420	7.2	0.3	3C147, 286	0.93	1986.66	6.68	0.28	[17]
1420	7.7	0.3	3C48, 147, 286, 295	0.91	1994.45	7.04	0.27	[2]
1420	7.1	1.1	3C48, 147, 286, 295	0.91	2002	6.49	1.01	[18]
2695	10	1.5	Vir A	0.87	1966.99	7.7	1.31	[22]
2695	7.6	0.5	3C295	0.88	1978.59	6.69	0.44	[23]
4800	7.5	0.7	3C48	0.85	1982	6.35	0.59	[24]
4800	6.35	0.35	3C286	0.90	2010	5.72	0.32	[25]
4840	5.338	0.04	3C295	1	2018.64	5.34*	0.3	н.р.
4995	7.2	1	Vir A	0.92	1967.47	5.6	0.92	[26]
4995	5.6	1.3	3C147	0.88	1976	4.92	1.14	[19]
8450	2.95	0.08	3C295	1	2018.38	2.95*	0.18	н.р.
10600	2.44	0.488	DR21	0.89	1974	2.18	0.44	[21]
14240	2.26	0.23	Crab	0.86	2007.5	1.94	0.2	[27]
14960	2.31	0.23	Crab	0.82	2007.5	1.89	0.19	[27]
15680	2.26	0.23	Crab	0.81	2007.5	1.83	0.19	[27]
16410	2.11	0.21	Crab	0.83	2007.5	1.75	0.17	[27]
17130	2.04	0.2	Crab	0.84	2007.5	1.71	0.17	[27]
17860	1.96	0.2	Crab	0.83	2007.5	1.63	0.17	[27]
32000	1.47	0.19	3C286, NGC 7027	0.84	1983.49	1.23	0.16	[28]

Примечание. * Усреднены данные табл. 2, за исключением “вспышек” №№ 17 и 22 на $\lambda = 6.2$ см и № 24 на $\lambda = 3.5$ см. Приведены: f — частота измерений; S_p — опубликованное значение плотности потока G74.9+1.2; Err — абсолютная погрешность S_p ; Ref. source — источник-калибратор, если стандартных источников несколько — Sample; k — множитель перехода к шкале ИЛ; Epoch — эпоха измерений; Sam [Ян] — плотность потока G74.9+1.2 в шкале потоков ИЛ; Err(Sam) [Ян] — абсолютная погрешность Sam; Ref. — ссылки на первоисточник.

данных, а также измерений ИПА РАН, показан на рис. 2. Совокупность имеющихся данных удовлетворительно аппроксимируется двумя участками с разными спектральными индексами на разных частотных интервалах. На каждом участке плотность потока S зависит от частоты (f) по степенному закону (1).

Проекция двух степенных участков пересекаются на частоте $f_b \approx 3409$ МГц. На частотном интервале $f > f_b$ спектральный индекс выше по сравнению с интервалом $f < f_b$ на $\Delta\alpha = 0.4 \pm 0.05$.

Параметры низкочастотного участка ($\lambda \geq 6.2$ см): $\alpha_1 = 0.31 \pm 0.03$, $S_{01} = 5.44 \pm 0.15$ Ян, $f_0 = 3500$ МГц.

Параметры высокочастотного участка ($\lambda < 6.2$ см): $\alpha_2 = 0.71 \pm 0.04$, $S_{02} = 5.38 \pm 0.22$ Ян.

Приращение $\Delta\alpha$ близко к значению 0.5, ожидаемому в случае происхождения излома в результате синхротронного высвечивания релятивистских частиц в течение длительного временного интервала существования источника.

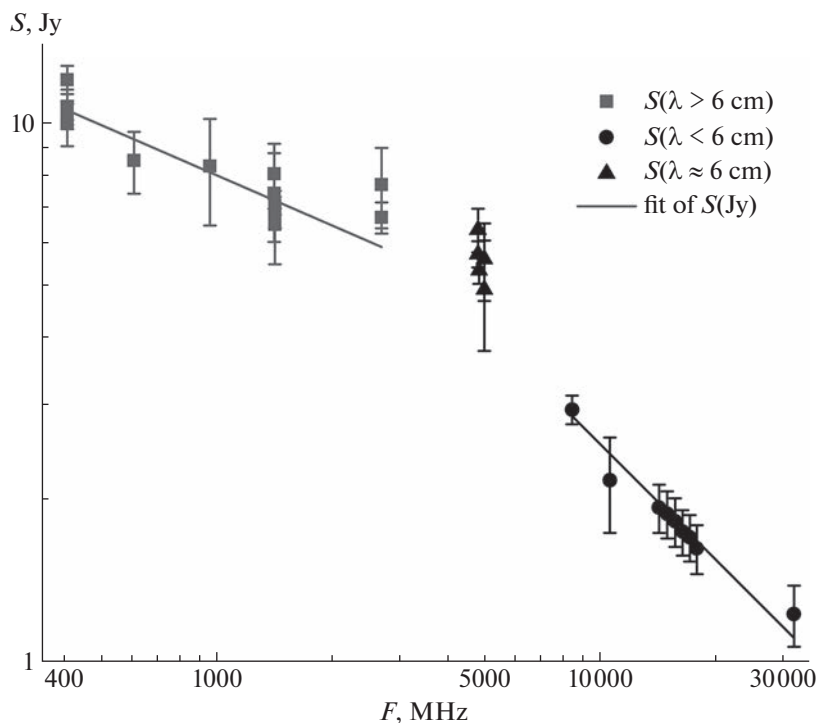


Рис. 2. Спектр SNR G74.9+1.2 по данным измерений, приведенным к шкале потоков ИЛ.

4. ОБСУЖДЕНИЕ

Данные многократных измерений плотностей потоков SNR G74.9+1.2 на радиотелескопе РТ-32 ИПА РАН на волнах $\lambda = 6.2$ и 3.5 см содержат значимые отклонения от среднего уровня, существенно превосходящие случайные погрешности измерений, на временной шкале порядка месяца и более. В то же время можно отметить меньшую нестабильность излучения G74.9+1.2 по сравнению с более молодыми SNR G11.2–0.3 и др. [14, 29].

Спектр G74.9+1.2 аппроксимируется двумя степенными частотными интервалами, где спектральный индекс на высокочастотном участке превышает низкочастотный на величину, близкую к $\Delta\alpha = 0.5$. В сочетании с длительным временем существования источника это может указывать на происхождение излома спектра в результате синхротронного высвечивания. Отклонения точек рис. 2 от степенной подгонки редко превышают пределы погрешностей σ , и можно утверждать, что переменная составляющая в радиоизлучении G74.9+1.2 на всех временных шкалах значительно менее выражена по сравнению с более молодыми PWN.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возраст остатка сверхновой G74.9+1.2 превосходит 4000 лет, и его радиоизлучение имеет отли-

чия от более молодых подобных объектов. Нами исследованы спектр источника и наличие в нем переменной составляющей.

Измерения интенсивности радиоизлучения G74.9+1.2 выполнены на радиотелескопе РТ-32 обсерватории Светлое ИПА РАН. Приведены в единую систему опубликованные данные измерений плотностей потоков этого источника. Абсолютная шкала потоков ИЛ послужила основой этих исследований. В результате получен радиоспектр SNR G74.9+1.2, с точностью, превосходящей ранее опубликованные работы.

Спектр содержит излом со скачком спектрального индекса $\Delta\alpha = 0.4$, что согласуется с возможностью формирования излома в течение времени существования источника за счет потери энергии на синхротронное излучение релятивистских частиц. Полученные данные позволяют сделать вывод: переменная составляющая в радиоизлучении G74.9+1.2 на всех временных шкалах значительно менее выражена по сравнению с более молодыми PWN [14, 29].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. D. A. Green, Bull. Astron. Soc. India **37**, 45 (2009).
2. B. J. Wallace, T. L. Landecker, A. R. Taylor, and S. Pinneault, Astron. and Astrophys. **317**, 212 (1997).
3. A. S. Wilson, Astrophys. J. Letters **241**, L19 (1980).

4. *H. Matheson, S. Safi-Harb, R. Kothes*, **774**, id. 33 (2013).
5. *A. A. Abdo, B. Allen, D. Berley, E. Blaufuss, et al.*, **658**, L33 (2007).
6. *E. Aliu, S. Archambault, T. Arlen, T. Aune, et al.*, ICRC 7, 227 (2011), arXiv:0812.1415 [astro-ph] (2008).
7. *P. L. Nolan, A. A. Abdo, M. Ackermann, M. Ajello, et al.*, *Astrophys. J. Suppl.* **199** (2), id. 31 (2012).
8. *В. П. Иванов, А. В. Ипатов, И. А. Рахимов, Т. С. Андреева*, *Астрон. журн.* **99**, 921 (2022).
9. *В. П. Иванов, А. В. Ипатов, И. А. Рахимов, С. А. Гренков, Т. С. Андреева*, *Астрон. журн.* **95**, 609 (2018).
10. *А. М. Финкельштейн*, *Наука в России* **5**, 20 (2001).
11. *A. Finkelstein, A. Ipatov, and S. Smolentsev*, in *Proc. Fourth APSGP WorkShop*, edited by H. Cheng, Q. Zhihan (Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 2002), p. 47.
12. *И. А. Рахимов, Ш. Б. Ахмедов, А. А. Зборовский, Д. В. Иванов, А. В. Ипатов, С. Г. Смоленцев, А. М. Финкельштейн*, *Всероссийская Астрономическая Конференция. Тезисы докладов (С.-Петербург: ИПА РАН, 2001)*, с. 152.
13. *В. П. Иванов, К. С. Станкевич, С. П. Столяров*, *Астрон. журн.* **71**, 737 (1994).
14. *M. Ott, A. Witzel, A. Quirrenbach, T. P. Krichbaum, K. J. Standke, C. J. Schalinski, and C. A. Hummel*, *Astron. and Astrophys.* **284**, 331 (1994).
15. *C. Fanti, M. Felli, A. Ficarra, C. J. Salter, G. Tofani, and P. Tomasi*, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.* **16**, 43 (1974).
16. *H. J. Wendker, I. A. Higgs, and T. I. Landecker*, *Astron. and Astrophys.* **241**, 551 (1991).
17. *S. Pineault and P. Chastenay*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **246**, 169 (1990).
18. *R. Kothes, K. Fedotov, T. J. Foster, and B. Uyaniker*, *Astron. and Astrophys.* **457** (3), 1081 (2006).
19. *K. W. Weiler and P. A. Shaver*, *Astron. and Astrophys.* **70**, 389 (1978).
20. *R. W. Wilson and J. G. Bolton*, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **72**, 331 (1960).
21. *R. M. Duin, F. P. Israel, J. R. Dickel, and E. R. Seaquist*, *Astron. and Astrophys.* **38**, 461 (1975).
22. *W. J. Altenhoff, D. Downes, L. Goad, A. Maxwell, and R. Rinehart*, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.* **1**, 319 (1970).
23. *B. J. Geldzahler, T. Pauls, and C. J. Salter*, *Astron. and Astrophys.* **84**, 237 (1980).
24. *H. J. Wendker*, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.* **58**, 291, (1984).
25. *X. H. Sun, P. Reich, W. Reich, L. Xiao, X. Y. Gao, and J. L. Han*, *Astron. and Astrophys.* **536**, id. A83 (2011).
26. *E. C. Reifstein, T. L. Wilson, B. F. Burke, P. G. Mezger, and W. J. Altenhoff*, *Astron. and Astrophys.* **4**, 357 (1970).
27. *Natasha Hurley-Walker, A. M. M. Scaife, D. A. Green, M. L. Davies, et al.*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **396**, 365 (2009).
28. *H. W. Morsi and W. Reich*, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.* **69**, 533 (1987).
29. *В. П. Иванов, А. В. Ипатов, И. А. Рахимов, Т. С. Андреева*, *Астрон. журн.* **98**, 630 (2021).

RADIO EMISSION SPECTRUM OF COMPOSITE SUPERNOVA REMNANT G74.9+1.2

V. P. Ivanov^a, A. V. Ipatov^a, I. A. Rahimov^a, and T. S. Andreeva^a

^a*Institute of Applied Astronomy of the RAS, St. Petersburg, Russia*

Measurements of the flux densities of the supernova remnant (SNR) G74.9+1.2 (CTB 87) at frequencies of 4840 and 8450 MHz were carried out with the RT-32 radio telescope of the Svetloye observatory of the IAA RAS in 2018–2019. The data obtained contain signs of the presence of a source of a variable component in the radio emission on a time scale of a month or more. The flux densities of G74.9+1.2 over the time interval 1959.7–2010 are determined from published data, which makes it possible to compare the intensities of G74.9+1.2 and standard sources. All data are presented in a single system based on the exact scale of “artificial moon” (AM) fluxes. A refined spectrum of SOS G74.9+1.2 was obtained. The totality of available data is approximated by two power-law sections with different spectral indices: $\alpha_1 = 0.31$ at frequencies $f < f_b$ and $\alpha_2 = 0.71$ at $f > f_b$. The projections of two power law sections intersect at a frequency $f_b \approx 3409$ MHz. The break in the radio spectrum of the source, taking into account its age (more than 4000 years), could be formed as a result of synchrotron losses. The increase in the steepness of the spectrum close to 0.5 above the frequency f_b is an argument in favor of such an assumption. The totality of data obtained during measurements on the RT-32 and on the basis of published works allows us to state that the variable component in the G74.9+1.2 radio emission on all time scales is much less pronounced compared to younger PWNs. As a possible mechanism for the observed variability, a reconnection of the magnetic field lines in the pulsar magnetosphere is proposed.

Keywords: supernova remnant, plerion, shock wave, radio telescope