

УДК 524.54

Исследования туманности S 216 на декаметровых волнах

Е. А. Абраменков, В. В. Крымкин, М. А. Сидорчук

По данным измерений туманности S 216 на декаметровых волнах сделан надежный вывод о тепловой природе излучения этого объекта. В случае, если S 216 является планетарной туманностью, ее электронная температура равна $(8 \pm 2.5) \cdot 10^3$ К, электронная плотность — 5.5 ± 2.5 см⁻³, масса — $0.9 M_{\odot}$.

INVESTIGATIONS OF THE NEBULA S 216 AT DECA-METRIC WAVELENGTHS, by Abramenkova E. A., Krymkin V. V., Sidorchuk M. A.—On the basis of decametric observations the reliable conclusion is made about the thermal nature of radiation of the S 216. If S 216 is a planetary nebula, its electron temperature is $(8 \pm 2.5) \cdot 10^3$ K, the electron density is 5.5 ± 2.5 cm⁻³, and the mass is $0.9 M_{\odot}$.

Введение. В работах [5, 10] обращено внимание на необычные свойства туманности S 216 в оптическом диапазоне волн. Туманность видна в линии H α , однако она не похожа на область H II, так как здесь не найдены O-, B-звезды, которые можно было бы рассматривать как источник ионизации водорода. Отношение интенсивностей в линиях [S II], [N II], [O I] к интенсивности H α в S 216 значительно больше, чем в областях H II, и ближе к наблюдаемым и расчетным в спектрах остатков вспышек сверхновых звезд (ОСН) и планетарных туманностей (ПТ). Отнести туманность к ОСН также нет оснований из-за несоответствия по другим параметрам. Действительно, S 216 имеет очень низкую, не характерную для ОСН скорость расширения (менее 4 км/с). Ионизационная структура показывает концентрацию излучения в линии [O III] к центру туманности, что присуще областям H II, в то время как в ОСН линия [O III] излучается на периферии за фронтом ударной волны. S 216 не зарегистрирована на метровых и более коротких волнах как нетепловой источник, а на картах на частотах 10 и 38 МГц [3, 11] в этом направлении видна слабая область поглощения, свидетельствующая о наличии теплового компонента. Оценка расстояния до туманности как до остатка по соотношению $\Sigma - D$ [4] (в предположении, что ее яркостная температура на частоте 408 МГц составляет 1—2 К [6]) даст величину 2 кпк. Это не соответствует малой величине покраснения в направлении наиболее яркой части, где $E(B-V) \leq 0.25^m$ [5], что также ставит под сомнение нетепловую природу излучения этого объекта.

Интерпретация S 216 как планетарной туманности выглядит более убедительно [5, 10]. К такому выводу приводят конфигурации объекта, низкая скорость расширения, присущая некоторым старым ПТ, а также результаты спектроскопических исследований. Наибольшие сомнения при таком подходе были связаны с идентификацией центральной звезды ПТ. В качестве возможных ядер в работе [10] рассматривались звезды LSV+46°21 и AS 84, а их необычно большое для ПТ смещение относительно оптического центра объяснялось торможением туманности межзвездной средой.

Данная работа посвящена наблюдениям S 216 на декаметровых волнах. Цель работы — выяснить природу и дать оценки физических параметров объекта. При постановке задачи учитывалось, что используемая нами методика обеспечивает надежный тест в выборе между тепловым и нетепловым механизмами излучения.

Методика и результаты исследований. Наблюдения S 216 выполнены на радиотелескопе УТР-2 [2] на частотах 12.6, 14.7, 16.7, 20 и 25 МГц. Они осуществлялись сканированием источника веером из пяти карандашных лучей по прямому восхождению за счет вращения Земли. Разрешение инструмента в нашем диапазоне заключалось в интервале 28—56'.

Необходимо отметить, что УТР-2 относится к классу корреляционных инструментов, в пространственно-частотной характеристике которых отсутствуют постоянная составляющая и низкочастотные гармоники. Поэтому они непосредственно не пригодны для исследования протяженных объектов, необходимы некоторые «ухищрения». Для УТР-2 недостающая область пространственно-частотной характеристики телескопа вос-

становилась посредством задания амплитудно-временного распределения тока вдоль антенных решеток с последующей коррекцией весовых коэффициентов пространственных гармоник при обработке на ЭВМ [8]. В результате такой процедуры формировалась диаграмма направленности (ДН), соответствующая идеальному пространственному фильтру нижних частот, что обеспечивало возможность наблюдений протяженных объектов так же, как на аддитивном инструменте.

Результаты обработки экспериментальных данных приведены на рис. 1 в виде сканов яркостных температур по прямому восхождению (α) для склонения $\delta=46^{\circ}14'$.

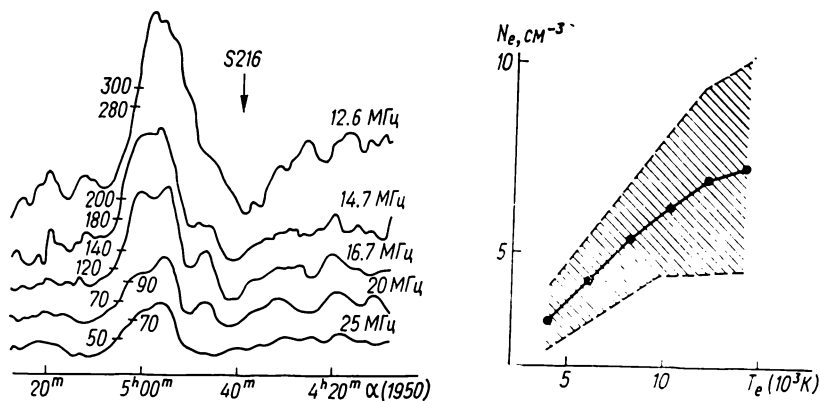


Рис. 1. Сканы яркостных температур (10^3 K) на пяти частотах по прямому восхождению для склонения $+46^{\circ}14'$. Протяженный источник в поглощении — туманность S 216. Протяженный источник в излучении — остаток вспышки сверхновой HB 9

Рис. 2. Область допустимых значений электронных концентраций и температур, соответствующих измеренной частотной зависимости яркостных температур в направлении туманности S 216

Координаты относятся к эпохе 1950.0. Доминирующая деталь на сканах обусловлена протяженным нетепловым источником ОСН HB 9. Туманность S 216 видна в направлении с координатами $\alpha=4^h40^m$, $\delta=46^{\circ}30'$, что в большей степени совпадает с данными [9] по сравнению с [10] и практически соответствует направлению на звезды LSV $+46^{\circ}21$ и AS 84. Как следует из рис. 1, S 216 на всех частотах (возможно, кроме 25 МГц) проявляется в поглощении на фоне интенсивного нетеплового галактического и метagalacticкого излучения. Такой характер изображения туманности на низких частотах позволяет надежно классифицировать ее как тепловой источник.

Кроме данных декаметровых исследований нами получено около десяти сканов S 216 на радиотелескопе РАТАН-600 на частотах 3.65 и 3.95 ГГц. Туманность на этих частотах не видна. Поэтому можно указать лишь верхний предел, который для протяженного источника больших угловых размеров определялся в основном нестабильностью излучения атмосферы, значительно превышающей флуктуационную чувствительность системы [1]. Флуктуационная чувствительность (ϵ) наших измерений на радиотелескопах УТР-2 и РАТАН-600:

ν , МГц	12.6	14.7	16.7	20	25	3950
ϵ , К	7900	4300	3600	1800	1300	$2 \cdot 10^{-3}$

Физические параметры. Оценка физических параметров S 216 проводилась методом численного моделирования и сопоставления расчетных и измеренных данных. Считалось, что объект имеет форму шара с однородным распределением плотности и электронной температуры. Угловой размер его $100'$. Согласно [10], принималось, что S 216 является ПТ, удаленной от нас на расстояние 80 пк. Для выбранной модели рассчитывалась поверхностная яркость источника при значениях электронной температуры $T_e=(2-14) \cdot 10^4$ К и электронных концентраций $N_e=2-14$ cm^{-3} . Расчетные распределения яркости туманности с учетом интенсивности окружающего фонового излучения свертывались с расчетной ДН. В результате сопоставления измеренных и расчетных значений яркостных температур определена область допустимых величин T_e и N_e туманности S 216, которая показана на рис. 2.

Далее для оценки T_e и N_e привлекались данные более высокочастотных наблюдений — карты температур на частотах 38, 408 и 1420 МГц [6, 7, 11], а также наши измерения на частотах 3.65 и 3.95 ГГц. Процедура последующих расчетов аналогична описанной выше. Для той же модели (но с учетом зависимости рис. 2) вычислялась яркость источника (T_n) в направлении центра на высоких частотах и сравнивалась с измеренными температурами. Ожидаемые яркостные температуры S 216 для соответствующих величин T_e , N_e приведены в таблице. Здесь же указаны температуры S 216 в направлении центра, полученные при анализе карт на соответствующих частотах и по измерениям на 3.9 ГГц. Экспериментальные данные не противоречат друг другу, но только интервал температур на 408 МГц позволяет оценить физические параметры туманности в пределах, представляющих информативную значимость. Такая ситуация обусловлена исключительно большой нерегулярностью фона в окрестностях туманности из-за расположенных рядом мощного ОСН НВ 9, ярких точечных источников ЗС 129, 129.1 и диска Галактики. К тому же сама туманность является очень слабым объектом как в оптическом, так и радиодиапазонах. По нашим оценкам, в S 216 температура $T_e = (8 \pm 2.5) \cdot 10^3$ К, $N_e = 5.5 \pm 2.5$ см $^{-3}$, что хорошо согласуется с данными, полученными в оптическом диапазоне, $T_e = (9.4 \pm 1.1) \cdot 10^3$ К, $N_e > 4$ см $^{-3}$ [10]; масса туманности равна $0.9 M_{\odot}$.

Расчетные яркостные температуры S 216

T_e , 10^3 К	4	6	8	10	12	14	Из карт	ν , МГц
N_e , см $^{-3}$	3.2	4.3	5.4	6.3	7	7.3	—	—
ΔT , К	310	270	230	170	110	50	< 837	38
T_n , 10^{-3} К	700	1100	1600	2000	2300	2400	$10^3 \dots 2 \cdot 10^3$	408
	50	80	115	145	168	173	100 ... 200	1420
	6	9	13	17	19	20	< 25	3950

Примечание. ΔT — величина поглощения фона, обусловленная S 216.

Как уже отмечалось, S 216 вряд ли является областью Н II, так как здесь не найдены ионизирующие О-, В-звезды. Предположим, однако, что возбуждающая звезда в силу каких-то обстоятельств не видна, и рассчитаем физические параметры туманности как Н II области. Оценки сделаны для расстояния 1 кпк. Для такого расстояния необходимо учитывать нетепловое излучение Галактики, возникающее на луче зрения до объекта. По нашим данным, оно соответствует $11 \cdot 10^3$ К на частоте 25 МГц. Оказалось, что электронная температура туманности $T_e = (7 \pm 2) \cdot 10^3$ К, мера эмиссии $ME = 30-90$ пк·см $^{-6}$, что практически совпадает с полученными выше значениями для планетарной туманности.

Выводы. На дециметровых волнах S 216 видна в поглощении. Эффект проявляется весьма слабо, но регистрируется в широком диапазоне волн и соответствует ожидаемой частотной зависимости поглощения фона ионизированной плазмой. Это исключает нетепловую природу S 216. Такой наблюдаемый эффект могут обеспечить области Н II, планетарные туманности либо молекулярно-пылевые облака (МПО), т. е. тепловые источники. Качественный и количественный анализ проблемы с привлечением только дециметровых данных не обеспечивает необходимого теста для дальнейшей конкретизации природы туманности. Из перечисленных разновидностей тепловых объектов для S 216 легко исключаются только МПО, если источник виден в излучении на частотах 408 и 1420 МГц. Остальные версии пока игнорировать нельзя, хотя из них наиболее предпочтительной остается классификация S 216 как планетарной туманности.

1. Берлин А. Б., Гасанов Л. Г., Гольнев В. Я. и др. Эксперимент ХОЛОД. Первый глубокий обзор неба на телескопе РАТАН-600 // Сообщ. Спец. астрофиз. обсерватории.— 1984.— Вып. 41.— С. 9—84.
2. Braude S. Ya., Megn A. V., Ryabov B. P. et al. Decametric survey of discrete sources in the northern sky. I. The UTR-2 radio telescope. Experimental techniques and data processing // Astrophys. and Space Sci.— 1978.— 54, N 1.— P. 3—36.
3. Caswell J. L. A map of the northern sky at 10 MHz // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.— 1976.— 177, N 3.— P. 601—616.

4. *Clark D. H., Caswell J. L.* A study of galactic supernova remnants, based on Molonglo-Parkes observational data // *Ibid.*— 1976.— 174, N 2.— P. 267—305.
5. *Fesen R. A., Blair W. P., Gull T. R.* Sharpless 216: A curious emission-line nebula // *Astrophys. J.*— 1981.— 245, N 1.— P. 131—137.
6. *Haslam C. G. T., Quigley M. J. S., Salter C. J.* A 408 MHz survey of the galactic anticentre region // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*— 1970.— 147, N 4.— P. 405—441.
7. *Kallas E., Reich W.* A 21 cm radio continuum survey of the Galactic plane between $l=93^\circ$ and $l=162^\circ$ // *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*— 1980.— 42, N 2.— P. 227—243.
8. *Krymkin V. V.* Observations of the Rossette Nebula NGC 2237 at decametric wavelengths // *Astrophys. and Space Sci.*— 1978.— 54, N 1.— P. 187—197.
9. *Marsalkova P.* A comparison catalogue of H II-regions // *Ibid.*— 1974.— 27, N 1.— P. 3—110.
10. *Reynolds R. J.* Fabry-Perot observations of the unusual emission-line nebula S 216 // *Astrophys. J.*— 1985.— 288, N 2.— P. 622—629.
11. *Williams P. I. S., Kenderdine S., Baldwin I. E.* A survey of radio sources and background radiation at 38 Mc/S // *Mem. Roy. Astron. Soc.*— 1966.— 70, N 1.— P. 53—110.

Радиоастрон. ин-т АН УССР,
Харьков

Поступила в редакцию 15.04.86.
после доработки 10.07.86

РЕФЕРАТ ДЕПОНИРОВАННОЙ РУКОПИСИ

УДК 523.855

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЬЦЕВОЙ И БЛИЗКОЙ К КОЛЬЦЕВОЙ СТРУКТУР S- И SB-ГАЛАКТИК / Нежинский Е. М.

(Рукопись деп. в ВИНТИ; № 8064—В86)

В работе предлагается модель S- (SB)-галактики с клочковатым кольцевым или близким к кольцевому узором.

Предлагаемая модель — самосогласованная, стационарная, устойчивая динамическая система с неосесимметричным распределением вещества. В модели введены следующие упрощения: осесимметричная часть сферической, дисковой и плоской составляющих галактики моделируются стационарным сплюснутым эллипсоидом вращения; самые массивные устойчивые сгущения в экваториальной плоскости (например, звездные комплексы) моделируются точечными телами постоянной массы; между всеми телами модели действуют только гравитационные силы; динамическое трение при движении точечных тел внутри эллипсоида не учитывается. Наша модель, в отличие от моделей, для которых применима теория волн плотности, не претендует на описание развития узоров в S- и SB-галактиках; она предназначена лишь для изучения формы и условий устойчивости некоторых стационарных клочковатых структур в экваториальной плоскости галактики.