АСТРОФИЗИКА

TOM 35

АВГУСТ, 1991

ВЫПУСК 1

УЛК 524.5

НАБЛЮДЕНИЯ ГАЗОВЫХ ТУМАННОСТЕЙ W80 И Sh119 НА ЧЕТЫРЕХ ЧАСТОТАХ ДЕКАМЕТРОВОГО **ДИАПАЗОНА**

Е.А.АБРАМЕНКОВ, В.В.КРЫМКИН

Поступила 5 марта 1991 Принята к печати 1 апреля 1991

На радиотелескопе УТР-2 проведены наблюдения газовых туманностей W 80 и Sh 119 на четырех частотах в интервале 14.7-25 МГц с разрешением на 25 МГц 28'. Результаты измерений представлены в виде карт распределения радиояркости. Электронная температура в пределах туманностей практически не изменяется и составляет 7100К для W80 и 5200К для Sh119. Объемная плотность нетеплового излучения межзвездной среды, усредненная на луче зрения между наблюдателем и областями IIII, равна 19 К · пк⁻¹ на частоте 25 МГн. Полученные результаты сравниваются с данными других авторов.

I. Восдение. Протяжснная диффузная туманность **W80** (Sh117: $\alpha = 20^{h} 57^{m}$, $\delta = 44^{\circ} 08'$ [1]) в оптическом участке спектра регистрируется в виде двух объектов - NGC 7000 (Северная Америка) и IC 5070 (Пеликан), разделенных широкой пылсвой полосой с поглошением 4...8^т[2]. Туманность расположена в Местном галактическом рукаве на расстоянии 1 кпк от Солнца [3] в районе, богатом мощными источниками радиоизлучения и газо-пылевой матерней. В радиоднапазоне изображение туманности имеет приблизительно форму круга днаметром 50 пк (3°). Благодаря большому угловому размеру и высокой поверхностной яркости W80 подробно изучена в оптике [2,4-6], высокочастотном радиоконтинууме [7-10] и рекомбинационных радиолиниях [11-13]. Плотные пылевые образования в направлении W80 изучались в линии молскулы СО [14]. В результате этих работ исследовано распределение вещества в туманности и получены физические параметры газа.

В [15] на основании анализа оптических измерений предполагается значительная неизотермичность W80 с изменением значений электронной температуры для различных направлений в пределах туманности в несколько раз. Такое предположение не находит подтверждения при теоретическом исследовании тепловой структуры областей HII [16] и нуждается в проверке. Газовая туманность Sh119 (α = 21 ^h17 ^m, δ = 43 ^o 44' [1]) расположена

в 4° к востоку от W80. Она имеет кольцевую форму и, вероятно, сформировалась под воздействием ветра звезды O₁ 8 68 Лебедя [17]. Объект находится на расстоянии 870 пк от Солнца [3]. Угловой размер его 2°.5, что соответствует линейной протяженности 40 пк. Sh 119 исследовалась в оптике, сантиметровом и метровом участках радиоконтинуума [18,19], в рекомбинационной линии Н 166_а [20]. Рассмотрено возможное проявление туманности в рентгеновском диапазоне [21].

В настоящей работе W80 и Sh119 изучаются в декаметровом диапазоне волн с наиболее высоким пространственным разрешением и чувствительностью. Цель работы - независимое определение физических параметров туманностей и нетеплового галактического фона в направлении объектов.

2. Наблюдения и обработка. Наблюдения участка небесной сферы, содержащего туманности, проведены на радиотелескопе УТР-2 [22] на частотах 14.7; 16.7; 20 и 25 МГц. Разрешение на частоте 25 МГц равно 28'. Полученные изофоты приведены на рис.1 - 4 в координатах: прямое восхождение-склонение эпохи 1950.0. Заштрихованные эллипсы соответствуют угловым размерам диаграммы направленности инструмента по мощности на уровне 0.5. Антенные температуры обозначены в тысячах Кельвинов, наклонной прямой линией показана плоскость Галактики.



Рис.1. Распределение радиояркости в направлении туманностей W80 и Sh119 в тыс.К на частоте 14.7 МГц.

Туманности в исследуемом диапазоне проявились в поглощении на фоне галактического и метагалактического нетеплового радиоизлучения. К западу от W80 распределение аркости подвержено путанице с рядом мощных радио-

НАБЛЮДЕНИЯ ГАЗОВЫХ ТУМАННОСТЕЙ



Рис.2. Распределение радиояркости в направлении туманностей W80 и Sh119 в тыс.К на частоте 16.7 МГц.



Рис.3. Распределение радиояркости в направлении туманностей W80 и Sh119 в тыс.К на частоте 20 МГц.

источников. Однако радиоизображения самих туманностей получены достаточно надежно, что, в частности, видно при сравнении распределений яркости на различных частотах. Обе туманности на рабочих частотах УТР-2 несколько вытянуты вдоль галактического экватора. Такая же картина наблюдается и в оптике.



Рис.4. Распределение радиояркости в направлении туманностей W80 и Sh119 в тыс.К на частоте 25 МГц.

Из анализа радиоизофот определены интенсивность нетеплового галактического фона на луче зрения между наблюдателем и областями HII (η) и физические параметры туманностей: электронная температура (T_e), оптическая толщина (τ), мера эмиссии (ЕМ) и электронная плотность (N_e). Расчет проведен в соответствии с методикой, разработанной в [22,23] для исследования газовых туманностей на низких радиочастотах. Для расчета степени экранировки луча УТР-2 областями НІІ использовались распределения яркости, измеренные на частоте 1400 МГц с разрешением 10' [7,19].

Яркостная температура переднего радиофона была определена для W80 в 17 и для Sh119-в 7 направлениях. В результате их усреднения для каждой туманности получены значения η (табл.1), которые затем использовались при расчете физических параметров областей НІІ в этих направлениях. Полученные распределения электронных температур в Кельвинах показаны крестиками на рис.5. Усредненные по этим данным значения T_е указаны в табл.1. Здесь же приведены оптические толщины, меры эмиссии и электронные концентрации газа. Для W80 они усреднены по пяти направлениям, ориентированным на центральные районы туманности.

3. Обсуждение результатов. Из табл.1 видно, что объемные плотности радиофона для W80 и Sh119 практически совпадают. Это следовало ожидать, так как газовые туманности находятся приблизительно на одинаковом удалении от Солнца и отстоят на небольшом угловом расстоянии друг от друга-около 4^{0.} Совпадение результатов свидетельствует о надежности оценок, найденных

Таблица 1

Объскт	ν, ΜΓц	η, Κ · πκ ⁻¹	Te, K	т (25 МГц)	ЕМ, пк·см ⁻⁶	Ne, см ⁻³
W 80	14.7 16.7 20 25	66±8 49±6 32±3 18.5±2	7100±500	6.5	5400	10
Sh 119	14.7 16.7 20 25	68±9 50±7 33±4 19±2.5	5200±900	0.9	500	3.5

ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ W80 И Sh119 И ОБЪЕМНАЯ ПЛОТНОСТЬ ГАЛАКТИЧЕСКОГО РАДИОФОНА

по измерению поглощения в областях НІІ на низких радиочастотах. Заметим, что величина η в направлении этих объектов получена впервые.

W80. На рис.5, наряду с нашими результатами (крестики), приведены значения электронной температуры, полученные в [11] (кружочки) по измере-H 166 c радиолинии пространственным разрешением 32 '. нию Распределение температуры по диску W80 оказалось довольно однородным и приблизительно равным 8000 К в большей части туманности. Точки с более низкими температурами, приблизительно на 2000К, сосредоточены в зоне, ограниченной штриховой линией. Это следует как из наших данных, так и из результатов [11], что подтверждает реальность такого распределения Т., Отметим, что в декаметровом диапазоне оптическая толщина W80 составляет несколько единиц (табл.1). Следовательно, электронная температура, полученная в настоящей работе, обусловлена в основном периферийными слоями туманности. В этом случае совпадение с результатами [11] свидетельствует также о незначительном изменении Т, вдоль луча зрения для различных направлений, поскольку в линии Н 166 а туманность практически прозрачна.

Электронные температуры, полученные для W80 другими авторами из измерений оптических и радиолиний, а также средняя T_e поданным [11] приведсны в табл.2. Результаты, найденные по наблюдениям радиолиний, указаны в предположении локального термодинамического равновесия. Учет отклонения от состояния ЛТР, по-видимому, увеличит значения T_e [12,13] на 20-30% [11,13].

Таблица 2

Линии	Te,K	Литература	
Hg, [N II]	7500	[5]	
Ha, [N II]	5300	[4]	
Ha. [N II]	5500±600 ^{a)}	[6]	
He. [N 17]	14000 6	[15]	
H 166 -	6900 **	[11]	
H 262	5500±2700	[13]	
H 257 a	5800 +2000	[12]	

ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕМПЕРАТУРА W 80

а) Среднее по двум направлениям.

б) Значение относится к ионизационным фронтам.

в) Среднее по девяти направлениям.

Как отмечалось выше, в работе [15] предполагалась значительная неизотермичность W80. Такой вывод был сделан на основании сравнения результатов работ [6] и [15], приведенных в табл.2. Анализ данных таблицы, а также результаты настоящей работы свидетельствуют скорее об исключительности



Рис.5. Распределение электронных температур в Кельвинах в W80 и Sh119. Крестики результаты настоящей работы, кружочки-данные работы [11]. значения 1400 К [15], тем более, что эта величина относится не к диффузной части туманности, а к двум ярким римам на границе ионизованного газа и пылевой материи. Различия между остальными величинами табл.2 незначительны. Исходя из этого, можно сделать вывод, что заметных вариаций электронной температуры в W80 нет.

Sh 119. Как следует из рис.5, Т_е в пределах туманности распределена довольно однородно со средним значением 5200 К (табл.1). Электронная температура Sh119 до настоящего времени была определена лишь в одной работе из измерсний в радиолинии Н 166 _с [20]. При условии ЛТР, которое в соответ-

ствии с [11] выполняется для данного перехода, температура туманности оказалась равной 4750 К. Из-за небольшой оптической толщины на частоте 25 МГц (табл.1) туманность в декаметровом диапазоне в значительной степени прозрачна для излучения. Такая же ситуация имеет место и для излучения в линии Н 166 α . Поэтому температуры, полученные в [20] и в настоящей работе, характеризуют приблизительно одни и те же объемы, а совпадение значений свидетельствует о надежности оценки.

В формировании оболочки кольцевой туманности существенную роль играст сгребенное звездным ветром межзвездное вещество. У протяженных туманностей вокруг О-звезд вещество, сброшенное звездой, составляет незначительную часть массы оболочки. В этом плане кольцевые туманности сходны со старыми остатками вспышек сверхновых звезд (ОСН), оболочки которых такжс образованы сгребенным межзвездным газом. В силу этого можно предположить, что часть излучения области НІІ имеет нетепловую природу и обусловлена усилением межзвездного магнитного поля в оболочке из-за вмороженности силовых линий в проводящий межзвездный газ. В случае Sh119 это подтверждается результатами работы [24], в которой получено, что напряженность магнитного поля в туманности (20±5мкГс) почти на порядок превосходит значение, характерное для межзвездной среды (2...3мкГс). Такой механизм излучения был предложен ван дер Лааном применительно к старым ОСН [25]. И хотя оказалось, что он обеспечивает лишь незначительную часть общего излучения ОСН [25,26], у кольцевых туманностей его вклад может оказаться основным при генерации нетеплового радиоизлучения. Представляется возможным вопрос о реализации механизма ван дер Лаана в кольцевых туманностях, поскольку он связан с рядом фундаментальных физических процессов, происходящих в межзвездной среде [26].

Используя расчетные формулы [25] и геометрические размеры оболочки из Паломарского атласа, можно оценить интенсивность ожидаемого нетеплового излучения Sh119. Учет этого излучения при обработке результатов наших наблюдений снизит расчетнос значение электронной температуры туманности на величину ≤2000 К по сравнению со значением, приведенным в табл.1. При определении Т_е из измерений рекомбинационных радиолиний указанный эффект практически не проявится, и поэтому различие электронных температур, полученных в декаметровом диапазоне и на высоких частотах, может свидетельствовать о наличии нетеплового компонента в радноизлучении туманности. Для Sh119 полученная нами электронная температура (табл.1) на ~500 К превышает значение, найденное из измерений в радиолинии Н 166 _а

[20]. Это может служить аргументом в пользу наличия нетеплового компонента в Sh119. Для более определенных выводов необходимы дальнейшие исследования этого класса объектов в широком диапазоне длин волн.

Радноастрономический институт All Украины

OBSERVATIONS OF THE GASEOUS NEBULAE W80 AND Sh119 AT FOUR FREQUENCIES OF DECAMETRIC WAVEBAND

E.A.ABRAMENKOV, V.V.KRYMKIN

Observations of the gaseous nebulae W80 and Sh119 were carried out with the radio telescope UTR-2 at four frequencies between 14.7 and 25 MHz with the resolution at 25 MHz 28'. The measurements results are presented in the form of brightness distribution maps. The electron temperature is nearly constant within the nebulae and equal to 7100 K for W80 and 5200 K for Sh119. The volume density of the non-thermal emission in the interstellar medium averaged on the line of sight between the observer and the HII regions is equal to 19 K \cdot pc⁻¹ at 25 MHz. Comparison of the results with the data of other authors has been made.

ЛИТЕРАТУРА

1. P.Marsalkova, Astrophys. and Space Sci., 27, 3, 1974

2. C.Gondis, P.G.Johnson, Astron. and Astrophys., 63, 259, 1978.

3. С.В. Аведисова, Г.И. Кондратенко, Паучилиф., Астрон. сов. АН СССР, 56, 59, 1984.

4. G.Courtes, R.Louise, G.Monnet, Astron. and Astrophys., 3, 222, 1969.

5. P. Foukal, Astrophys. and Space Sci., 5, 469,1969.

6. R.Louise, G.Monnet, Astron. and Astrophys., 1, 153, 1968.

7 M. Felli, E. Churchwell, Asiron. and Astrophys. Suppl. Ser. 5, 369, 1972.

8. 11.J. Wendker, Astrophys., 68, 368, 1968.

9. II.E.Matthews, W.W.Goss, Astron. and Astrophys., 88, 267, 1980.

10. H.J. Wendker, D.Behz, J.Baars, Astron. and Astrophys., 124, 116, 1983.

11. A.Pedlar, II.E.Matthews, Mon. Noile. Roy. Astron. Soc. 165, 381, 1973.

12. K.J.Gordon, C.P.Gordon, F.J.Lockmen, Astropys. J., 192, 337, 1974.

13 II. Penfield, P. Palmer, B. Zuckerman, Astrophys. J., 147, 1.25, 1967.

НАБЛЮДЕНИЯ ГАЗОВЫХ ТУМАННОСТЕЙ

14. S.A. Milman, Astrophys. J., 202, 673, 1975.

15. R. Louise, Astron. and Astrophys., 5, 35, 1970.

16. C.L. Sarazin, Astrophys. J., 211, 772, 1977.

17. Т.А.Лозинская, А.И.Ломовский, Письма в Астрон.ж., 8,224, 1982.

18. В.Ф. Есипов, А.Ю. Клементьева, А.В.Коваленко, Астрон.ж., 59, 965, 1982.

19. H.J. Wendker, Astron. and Astrophys., 13, 65, 1971.

20. A. Pedlar, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 192, 179, 1980.

21. Н.Г.Бочкарев, Т.А.Лозинская, Астрон.ж., 62, 103, 1985.

22. V.V.Krymkin, Astrophys. and Space Sci., 54, 187, 1978.

23. V.V.Krymkin, Astrophys. and Space Sci., 58, 347, 1978.

24. C. Heiles, Y.H.Chu, T.H.Troland, Astrophys.J., 247, L77, 1981.

25. II. van der Laan, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 124, 125, 1962.

26. И.С.Шкловский, Сверхновые звезды, Наука, М., 1976.