

## МЕЛКОМАСШТАБНАЯ СТРУКТУРА МЛЕЧНОГО ПУТИ

Т. Б. Пятунина

По наблюдениям на  $\lambda=3.95$  см с диаграммой направленности  $1'4 \times 20'$  получен верхний предел флуктуаций радиояркости Млечного Пути, равный  $10^{-3}$  °К, на основании которого найдены верхний предел мощности галактических радиоисточников при заданной их пространственной плотности и верхний предел среднеквадратичных флуктуаций электронной плотности  $\Delta \bar{n}_e \leq 4 \cdot 10^{-3} \div 4 \cdot 10^{-2}$  см $^{-3}$  при разных предположениях о средней электронной плотности. Поиск молодых зон HII («коконов») подтверждает существующие теоретические оценки их пространственной плотности.

From observations at 3.95 cm made with the antenna directivity pattern of  $1'4 \times 20'$  the upper limit to fluctuations of radio brightness of the Milky Way has been obtained, namely,  $10^{-3}$  °K. Based on it, the upper limit to the power of galactic radio sources given their spatial density, and the upper limit to the r. m. s. electron density fluctuations,  $\Delta \bar{n}_e \leq 4 \cdot 10^{-3} \div 4 \cdot 10^{-2}$  cm $^{-3}$ , under different assumptions of the mean electron density are found. A search for young HII regions («cocoons») supports the existing theoretical estimates of their spatial density.

Исследование радиоисточников проводят обычно либо путем поиска и исследования отдельных источников, изучения их индивидуальных характеристик, либо путем получения средних для целого класса источников характеристик (мощности и пространственной плотности) по величине шумов насыщения, создаваемых их совокупным радиоизлучением при случайном распределении по небу. Шумы насыщения позволяют обнаружить радиоисточники, на один-два порядка более слабые, чем при простом поиске, в том случае, если поверхностная плотность источников достаточно высока. Нами была предпринята попытка обнаружения и исследования галактических шумов насыщения, а также мелкомасштабной структуры континуума на сантиметровых волнах. Одновременно в области обзора был проведен поиск зон ионизации, создаваемых очень молодыми O- и B-звездами и окруженными пылевой оболочкой, остатком протооблака, из которого образовалась звезда.

Наблюдения с целью исследования мелкомасштабной структуры Млечного Пути проводились с апреля по август 1968 г. на  $\lambda=3.95$  см, при помощи Большого пулковского радиотелескопа (БПР). Область обзора:  $1^\circ 50' \leq \delta \leq 2^\circ 10'$ ,  $18^h 30^m \leq \alpha \leq 19^h 50^m$ ; размер диаграммы направленности радиотелескопа  $1'4 \times 20'$ . Наблюдения велись с широкополосным малошумящим радиометром с двумя параметрическими усилителями на входе (шумовая температура  $T=300^\circ$  К, полоса  $\Delta \nu=1000$  МГц [1]). Для ослабления влияния атмосферы использовалось двухлучевое сканирование с разнесением диаграмм направленности на 5/6.

Поскольку ожидаемые флуктуации много меньше собственных шумов на выходе приемника, для их выделения использовалась методика, которую применяли Конклин и Брейсуэлл [2] для обнаружения флуктуаций реликтового излучения. Производилось усреднение большого числа прохождений одной и той же области неба через диаграмму направленности

радиотелескопа. При этом наблюдаемая дисперсия шумов среднего из  $n$  прохождений равна

$$\sigma_{obs}^2 = \sigma_r^2 \frac{1}{n} + 2(\overline{\sigma_T^2} + \overline{\sigma_i^2}),$$

где  $\sigma_r^2$  — дисперсия шумов на выходе радиометра,  $\overline{\sigma_T^2}$  — дисперсия флуктуаций радиояркости Млечного Пути,  $\overline{\sigma_i^2}$  — дисперсия шумов насыщения. Коэффициент 2 учитывает двухлучевое сканирование. Черта означает усреднение по диаграмме направленности. Проводя усреднение при различных  $n$ , можно затем по методу наименьших квадратов выделить член  $2(\overline{\sigma_T^2} + \overline{\sigma_i^2})$ , не зависящий от  $n$ . С точностью до ошибок наблюдений

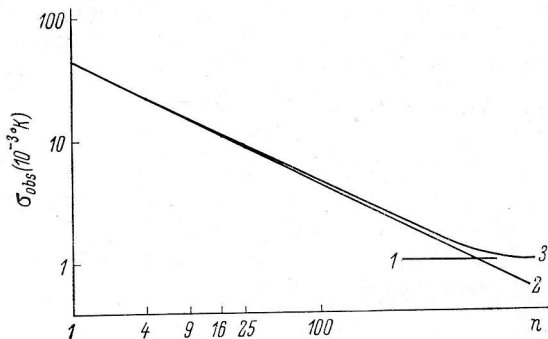


Рис. 1. Верхний предел флуктуаций радиояркости Млечного Пути (1), ожидаемая дисперсия шумов радиометра (2) и наблюдаемая дисперсия шумов ( $\sigma_{obs}$ ) (3).

$n$  — число прохождений.

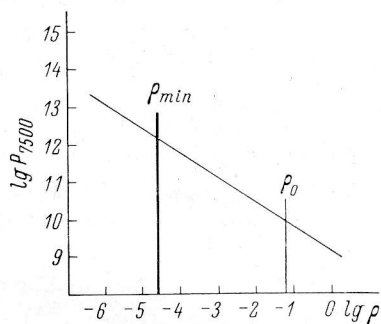


Рис. 2. Верхний предел мощности галактических радиоисточников  $P_{7500}$  [вт · гц<sup>-1</sup> · стерад.<sup>-1</sup>] при заданной их пространственной плотности  $\rho$  [пс<sup>-3</sup>].

$\rho_0$  — средняя звездная плотность в окрестностях Солнца,  $\rho_{min}$  — наименьшая пространственная плотность радиоисточников, создающих шум насыщения.

полезный сигнал не обнаружен. Получен лишь верхний предел этого члена

$$\sqrt{\overline{\sigma_T^2} + \overline{\sigma_i^2}} \leq 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{K}.$$

Оценка шумов насыщения Метагалактики проводилась по данным Райла [3]. Ожидаемая величина шумов насыщения на БПР на волне 3.95 см порядка  $10^{-4}$  °К. Следовательно, флуктуации радиояркости Млечного Пути не превышают  $10^{-3}$  °К (рис. 1).

Флуктуации радиояркости могут возникать из-за дискретности галактического фона радиоизлучения, аналогично шумам насыщения Метагалактики. В этом случае [4]

$$\delta T \propto S \sqrt{N \omega},$$

где  $S$  — плотность потока,  $N$  — поверхностная плотность источников,  $\omega$  — телесный угол диаграммы направленности радиотелескопа. Основной вклад в шумов дают радиоисточники, поверхностная плотность которых  $N \approx 1/\omega$ . Исходя из этого, можно показать, что отсутствие наблюдаемых шумов насыщения означает, что в Галактике нет радиоисточников с потоком  $S_{7500} > 10^{-28}$  вт · м<sup>-2</sup> · гц<sup>-1</sup> и поверхностной плотностью  $N > 2 \cdot 10^5$  стерад.<sup>-1</sup>. Отсюда можно получить верхний предел мощности галактических радиоисточников при заданной их пространственной плотности (рис. 2).

Если принять, что ионизованный газ в Галактике изотермичен, то флуктуации радиояркости могут быть непосредственно связаны с флуктуациями электронной плотности [5]:

$$\delta T = \frac{3.2 \cdot 10^{15}}{\nu^2} \left[ 1 - 0.21 \lg \left( \frac{\nu}{10^9} \right) \right] \overline{\Delta n_e^2} L.$$

При  $\nu = 7.5 \cdot 10^9$  гц  $\delta T = 0.47 \cdot 10^{-4} \overline{\Delta n_e^2} L$ . Здесь  $n_e$  — электронная плотность,  $L$  — протяженность излучающей области по лучу зрения в парсеках. Усреднение по диаграмме направленности ослабит флуктуации, связанные с неоднородностями, в  $\sqrt{N_1}$  раз, где  $N_1$  — количество неоднородностей, попадающих в диаграмму направленности радиотелескопа. По порядку величины  $N_1$  равно отношению угловых размеров диаграммы направленности и самих неоднородностей. Поэтому флуктуации радиояркости Галактики на масштабах около 1/4 будут

$$\delta T \leq 3.7 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{K}.$$

При протяженности излучающей области около  $10^4$  пс, среднеквадратичные флуктуации электронной плотности  $\overline{\Delta n_e^2} \leq 7.9 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-6}$ . При средней электронной плотности излучающего вещества  $\bar{n}_e \approx 1 \div 0.1 \text{ см}^{-3}$

$$\overline{\Delta n_e} = \frac{\overline{\Delta n_e^2}}{2\bar{n}_e} \leq 4.0 \cdot 10^{-3} \div 4.0 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-3}.$$

Интересно сопоставить этот результат с данными о мелкомасштабных неоднородностях меры вращения плоскости поляризации внегалактических радиосточников [6, 7]. Дэвис получил на масштабах  $10 \div 100''$  неоднородности меры вращения  $\Delta RM = 1.5 \text{ рад} \cdot \text{м}^{-2}$ .

Оценим, каковы должны быть флуктуации электронной плотности, чтобы при однородном магнитном поле они могли обусловить наблюдаемые неоднородности меры вращения. Как известно, мера вращения определяется соотношением

$$RM = 8.1 \cdot 10^5 \overline{(B_{\parallel} n_e)} L.$$

Здесь  $B_{\parallel}$  — продольная составляющая магнитного поля в гауссах,  $L$  — протяженность области по лучу зрения в парсеках. Фарадеевское вращение плоскости поляризации пульсаров свидетельствует о том, что продольная составляющая магнитного поля Галактики  $B_{\parallel}$  порядка  $10^{-6}$  гс [8,9]. Так как по Дэвису  $L \approx 10^3$  пс, то  $\overline{\Delta n_e} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-3}$ , т. е. флуктуации электронной плотности едва ли могут обусловить наблюдаемые неоднородности меры вращения. Однако при оценке по зеемановскому расщеплению линий нейтрального водорода магнитное поле Галактики получается на порядок больше [10]:  $(10 \div 20) \times 10^{-6}$  гс. При таком поле наблюдаемые  $\overline{\Delta n_e}$  могут дать существенный вклад в  $\Delta RM$ .

Проведенный нами поиск молодых зон НII, окруженных пылевой оболочкой (так называемых «коконов»), показал, что в области обзора размером 10 квадратных градусов (что соответствует вероятности обнаружения около 0.7 [11]) нет ни одного источника, поток от которого превосходил бы  $0.7 \cdot 10^{-26} \text{ вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{гц}^{-1}$ . Так как предельное расстояние, на котором можно обнаружить «кокон» вокруг звезды, при такой чувствительности примерно 13 кпс, то верхний предел пространственной плотности «коконов»  $\rho < 10^{-9} \text{ пс}^{-3}$ . Если половина всех О-звезд проходит через стадию «кокона», то продолжительность жизни «кокона» меньше  $0.1 t_0$  ( $t_0$  — время жизни О-звезд), что не противоречит существующим оценкам [11].

Автор выражает благодарность Ю. Н. Парийскому за постоянный интерес к работе и ценные дискуссии, а также Н. Ф. Корнеевой и Н. Е. Гольневой за помощь в обработке наблюдений.

#### Литература

1. Д. В. Корольков, А. Б. Берлин, Г. М. Тимофеева, Приборы и техника эксперимента, **3**, 146, 1969.
2. E. K. Conklin, R. N. Bracewell, Nature, **217**, 777, 1967.
3. G. G. Pooley, M. Ryle, Mon. Not. R. astr. Soc., **139**, 515, 1968.
4. Ю. Н. Парийский, Астр. ж., **45**, 279, 1968.
5. С. А. Каплан, С. Б. Пикельнер. Межзвездная среда. Физматгиз, М., 1963, стр. 71.
6. The Galaxy and the Magellanic Clouds. IAU—URSI Symp. No. 20, Canberra, Austr., 1964, p. 217.
7. R. D. Davies, Nature, **218**, 435, 1968.
8. R. Ekers, J. Lequeux et al., Astrophys. J., **156**, L21, 1969.
9. H. G. Smith, Nature, **220**, 891, 1968.
10. G. L. Verschuur, Phys. Rev. Lett., **21**, 775, 1968.
11. K. Davidson, M. Harwit, Astrophys. J., **148**, 443, 1967.

Декабрь 1969 г.