

**ПАРАМЕТРЫ СЛОЯ НI,
z-РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГАЗОВЫХ КОНДЕНСАЦИЙ
В ИНТЕРВАЛЕ ГАЛАКТИЧЕСКИХ ДОЛГОТ
 $210^\circ \leq L \leq 275^\circ$ и $|B| \leq 15^\circ$**

Н. А. Юдаева

На основе наблюдательных данных, полученных на радиотелескопе РАТАН-600 в радиолинии 21 см нейтрального водорода с разрешением ($\Delta\alpha \times \Delta\delta$) $3' \times 6.3$ км/с, проведено исследование параметров тонкой структуры слоя НI Галактики. Обсуждаются конфигурация, z-распределение, размеры, массы конденсаций НI, принадлежащих к ветвям а, б, с внешнего спирального рукава и к межрукавному пространству в интервале галактических долгот $210^\circ \leq L \leq 275^\circ$.

The search of the fine structure parameters of the neutral hydrogen layer of our Galaxy have been carried out using the RATAN-600 radiotelescope observational data in 21 cm radio-line with a resolution of $\Delta\alpha \times \Delta\delta = 3' \times 6.3$ km/s.

Configuration, z-distribution, dimensions, masses of the НI condensations, belonging to the a, b, c, branches of the Outer spiral arm and the interarm medium in the galactic longitude range $210^\circ \leq L \leq 275^\circ$ are discussed.

С целью детального исследования структуры слоя НI в Галактике на радиотелескопе РАТАН-600 были проведены наблюдения в радиолинии нейтрального водорода с высоким угловым разрешением по одной координате (прямому восхождению). Структура водородных спиральных рукавов Галактики сложна. Внутри рукавов обнаружены комплексы облаков с характерными размерами $\sim 200 \times 50$ пк и средней концентрацией атомарного водорода ~ 3 см⁻³, вытянутые вдоль спирального рукава [1]. В межрукавном пространстве также наблюдаются конденсации нейтрального газа, причем, согласно теории спиральных волн плотности, параметры облаков в рукавах и в межрукавных областях должны иметь значительные различия, особенно в отношении плотностей облаков и их размеров. Средняя концентрация НI в пространстве между рукавами примерно на порядок ниже, чем в рукавах [2, 3]. Структура облаков межзвездного водорода крайне нерегулярна. Согласно данным Верскера [2] по исследованию около 200 близких облаков НI, значительная доля их имеет вытянутую, нитевидную структуру. В последние годы значительно возрос интерес к вертикальной структуре слоя нейтрального водорода в Галактике. Крупномасштабные конденсации НI, протяженные в направлении, перпендикулярном плоскости Галактики, или так называемые «крылья» спиральных рукавов, согласно [4], прослеживаются до высот ~ 700 пк над плоскостью Галактики. В работе [5] предпринята попытка сопоставить z-распределение газовых конденсаций с лентообразными формами в пространственном распределении звезд ранних типов в местном спиральном рукаве. Обнаружено, что осцилляции z-распределения деталей слоя НI в Галактике возможны как в азимутальном (т. е. вдоль спирального рукава), так и в радиальном направлении. В настоящей работе рассматриваются конфигурация, z-распределение, размеры и массы облаков нейтрального водорода, принадлежащих к ветвям а, б, с внешнего спирального рукава и к межрукавному пространству в интервале галактических долгот $210^\circ \leq L \leq 275^\circ$ и широт $|B| \leq 15^\circ$.

Наблюдения. Наблюдательный материал был получен в виде сечений по прямому восхождению на склонениях $\delta = -40, -35, -30, -25, -20^\circ$ в 1982—1983 гг. и на промежуточных склонениях $\delta = -37.5, -32.5, -27.5, -22.5^\circ$

№	ΔL	$L_{T \max}$	ΔB	$B_{T \max}$	T_B, K	$v_{LSR}, \text{км/с}$	$R, \text{кпк}$	$r, \text{кпк}$	$z, \text{кпк}$	$\Delta z, \text{кпк}$	$N_{\text{HI}}, 10^{19} \text{ см}^{-2}$	$M_{\text{HI}}, 10^4 M_{\odot}$
Ветвь а												
1	238.0—256.1	253.0	-6.2—3.3	-4.9	45.0	94.8	16.01	10.65	-0.88	0.54	42.2	610.2
2	246.4—257.7	249.6	-3.1—0.0	-1.0	7.5	129.1	22.74	18.33	-0.51	0.99	4.4	126.9
3	247.8—251.0	250.6	0.7—1.4	0.9	5.0	94.3	15.58	10.54	0.19	0.13	2.1	1.3
4	233.8—245.9	239.6	-3.8—2.4	-3.2	42.5	96.1	47.23	11.30	-0.63	0.24	41.8	62.2
5	243.6—255.5	252.4	-6.4—4.9	-6.0	37.5	91.7	15.14	10.24	-1.07	0.27	43.0	195.4
6	247.3—259.4	250.2	-0.3—0.6	0.0	5.0	106.9	17.94	12.77	0.00	0.20	2.9	42.4
7	232.8—247.8	244.8	-5.5—3.8	-4.4	20.0	90.3	15.58	9.93	-0.76	0.29	9.1	55.6
8	234.3—258.2	248.7	-3.5—1.7	-2.8	55.0	94.2	15.74	10.51	-0.51	0.33	57.6	666.3
Ветвь б												
9	244.6—251.8	248.2	-9.7—7.0	-8.3	5.0	72.4	13.21	7.46	-1.08	0.35	10.8	28.5
10	235.5—247.7	236.0	-0.5—1.6	0.7	17.5	66.2	12.3	6.58	0.08	0.24	19.6	52.8
11	238.1—247.0	238.3	-5.9—4.7	-5.6	42.5	72.1	13.84	7.35	-0.72	0.15	8.3	41.6
12	233.7—248.6	246.0	-3.8—2.1	-2.4	7.5	68.3	12.88	6.82	-0.29	0.20	6.4	18.4
13	253.6—256.9	255.2	-5.0—3.6	-3.9	5.0	80.0	13.64	8.72	-0.59	0.21	5.6	4.8
14	254.2—257.6	254.6	-3.1—2.0	-2.6	7.5	82.2	13.89	8.95	-0.41	0.17	11.8	8.6
15	254.9—258.2	255.1	-2.1—1.5	-1.8	12.5	88.5	14.56	9.84	-0.31	0.10	12.6	5.9
Ветвь с												
16	243.7—253.3	250.0	-11.7—9.0	-10.3	10.0	56.9	11.82	5.70	-1.09	0.26	20.1	41.1
17	243.4—249.6	246.1	-7.4—5.9	-7.0	22.5	49.9	11.32	4.80	-0.59	0.13	32.1	16.7
Межрукавное пространство												
18	237.5—238.2	237.8	3.0—4.2	3.6	10.0	66.2	12.4	6.54	0.42	0.14	11.3	0.97
19	232.1—232.9	232.5	-6.9—5.1	-6.0	10.0	56.7	22.2	5.49	-0.57	0.17	20.2	2.1
20	236.4—237.1	236.7	-9.2—8.0	-8.8	7.5	66.3	15.1	6.65	-1.02	0.14	10.3	0.66
21	244.0—244.4	244.2	-5.9—5.0	-5.3	7.5	58.7	8.0	5.67	-0.52	0.09	5.5	0.15
22	242.3—243.0	242.5	1.4—2.5	2.1	5.0	79.0	27.2	8.21	0.30	0.16	12.4	1.6
23	242.3—242.5	242.4	-14.7—14.2	-14.4	5.0	62.7	17.0	6.27	-1.56	0.05	7.7	0.07
24	233.5—245.1	244.7	-4.5—3.2	-4.4	7.5	68.8	7.1	6.87	-0.53	0.16	4.8	8.4

Примечание.

ΔL — интервал галактических долгот, в котором прослеживается деталь.

$L_{T \max}$ — долгота, соответствующая максимальной интенсивности детали.

ΔB — интервал широт, в котором прослеживается деталь.

$B_{T \max}$ — широта, соответствующая максимальной интенсивности детали.

v_{LSR} — лучевая скорость в максимуме детали.

Δv — интервал лучевых скоростей детали.

T_B — яркостная температура в максимуме детали.

R — расстояние от центра Галактики.

r — расстояние от Солнца.

z — высота над плоскостью Галактики.

Δz — толщина детали перпендикулярно плоскости.

N_{HI} — плотность атомов в столбе единичного сечения на луче зрения.

M_{HI} — масса газа в конденсации.

в 1984—1985 гг. Выбор шага по склонению обусловлен размером вертикальной диаграммы сектора радиотелескопа. Параметры радиотелескопа РАТАН-600 на волне 21 см, радиоспектрометр, а также методика наблюдений и обработки данных описаны в работе [6]. На средних углах наблюдений размеры диаграммы направленности антенны составляли $2'6 \times 80'$, эффективная площадь $\sim 600 \text{ м}^2$, шумовая температура системы равнялась 150 К в первом цикле наблюдений и 90 К — в последующем. Разрешение спектрометра по лучевым скоростям составляло 6.3 км/с, кривые прохождения исследуемой области неба через диаграмму направленности радиотелескопа были получены через 3.1 км/с. После осреднения трех записей ошибка определения антенной температуры в спектральном канале составила 0.3 К. В интервале галактических долгот $210^\circ \leq L \leq 275^\circ$ угол между направлением кривых прохождения и плоскостью Галактики составляет $\sim 50^\circ$.

Картографирование. Картографирование излучения облаков нейтрального водорода, выделенных в окрестности всех трех (а, б, с, согласно [7]) ветвей

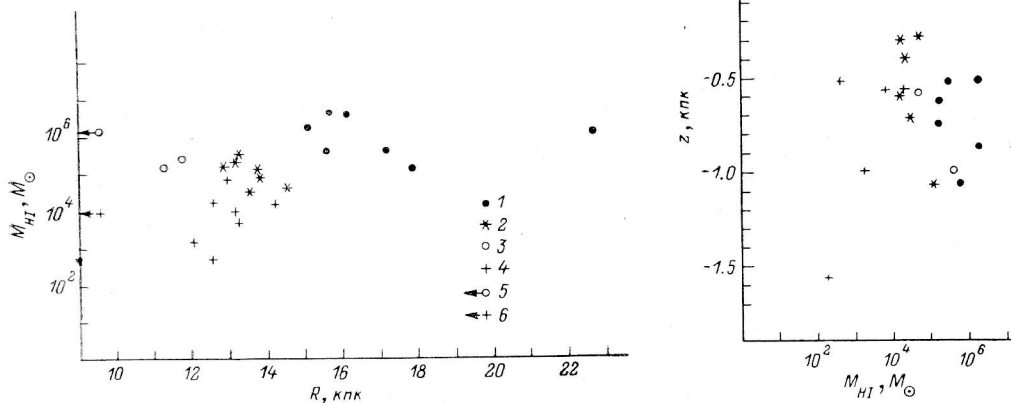


Рис. 1. Распределение газовых конденсаций по массам в зависимости от расстояния до центра Галактики.

1—3 — детали, являющиеся структурными составляющими ветвей, соответственно а, б и с внешнего спирального рукава Галактики; 4 — детали, выделенные в пространстве между рукавами; 5 — средняя масса конденсаций HI в рукаве; 6 — средняя масса межрукавных облаков.

Рис. 2. Распределение газовых конденсаций по массам в зависимости от их положения относительно плоскости Галактики (штриховая линия).

Обозначения принадлежности деталей см. на рис. 1.

внешнего спирального рукава Галактики, было проведено в области $210^\circ \leq L \leq 275^\circ$, $+40 \leq v_{\text{LSR}} \leq +120 \text{ км/с}$. Радиокарты излучения облаков HI на различных сечениях в координатах прямое восхождение—лучевая скорость с шагом изофот 1 К антенной температуры (коэффициент перехода из шкалы антенных в шкалу яркостных температур составляет 2.5) частично опубликованы в работе [8]. На радиокартах было выделено излучение нескольких десятков газовых конденсаций, параметры которых (в тех случаях, когда карты позволяли достоверно определить их границы) приведены в таблице. Расстояния и линейные размеры вычислялись в предположении плоской во внешних областях Галактики кривой дифференциального вращения, причем, согласно [9], R_\odot принималось равным 8.5 кпк, $v_\odot = 220 \text{ км/с}$.

Обсуждение. Действительно, облака нейтрального водорода обладают сильно вытянутой по долготе — от 6 до 18° — конфигурацией и во внешних областях Галактики, представляя собой располагающиеся вдоль спиральной ветви волокна протяженностью от 0.5 до 3 кпк и толщиной 100—500 пк. Средняя масса волокон, вычисленная по 17 облакам, принадлежащим к трем ветвям внешнего спирального рукава Галактики, составила $11.3 \times 10^5 M_\odot$. Конденсации HI в межрукавном пространстве имеют существенно отличающиеся характеристики: массы их в среднем на два порядка ниже, протяженность по долготе не превышает сотни парсек. На рис. 1 и 2 показано распределение газовых кон-

денсаций по массе в зависимости от расстояния от центра Галактики ($M_{\text{HI}}-R$, рис. 1) и от расположения детали относительно плоскости Галактики ($M_{\text{HI}}-z$, рис. 2). Стрелками на рис. 1 обозначены величины средней массы облаков межрукавной и рукавной составляющих слоя нейтрального водорода. Следует отметить интересную особенность, обнаруженную в конфигурации межрукавных деталей: протяженность конденсаций по долготе и в z -направлении соотносятся как 1 : 2. С этим фактом хорошо согласуются выводы теории спиральных волн плотности о «раздувании» облаков нейтрального газа в межрукавных областях.

В работе [4] для модели, в которой кинетическая температура газа изменяется с высотой послойно, было показано, что крупномасштабное галактическое возмущение имеет характерную высоту ~ 700 пк над плоскостью Галактики, причем сжатие на ударном фронте позволяет наблюдать газ и на высоких ши-

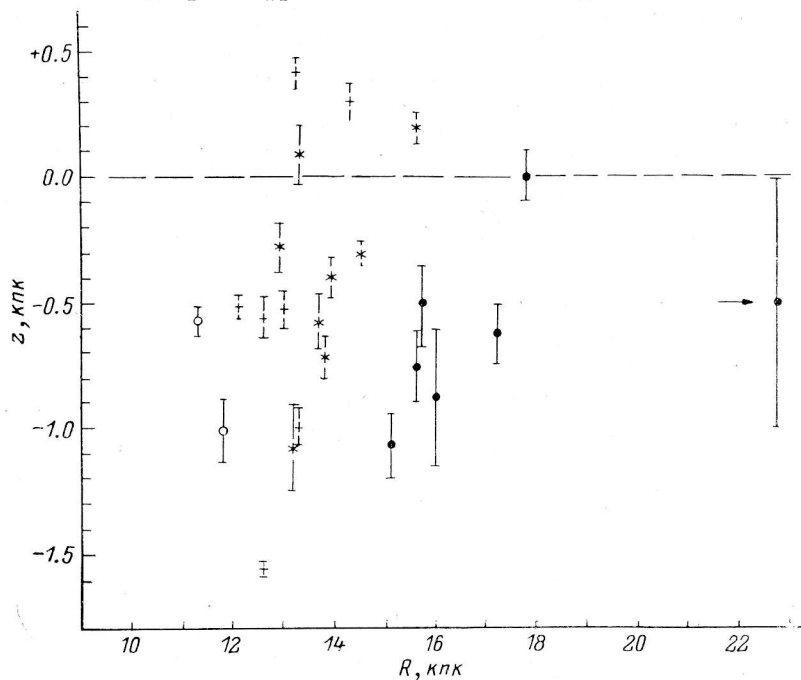


Рис. 3. Пространственное распределение облаков HI, выделенных в интервале галактических долгот $210^\circ \leq L \leq 275^\circ$ и $|B| \leq 15^\circ$.

Вертикальными черточками показан размер деталей перпендикулярно плоскости Галактики. Стрелкой отмечено облако, особенности физических параметров которого обсуждаются в тексте.

ротах. В действительности, детали тонкой структуры спиральных ветвей в окрестности внешнего спирального рукава прослеживаются перпендикулярно плоскости Галактики в интервале от -1.1 до $+0.2$ кпк, а в межрукавных областях протяженность слоя газа по z -координате возрастает почти до 2 кпк (от -1.6 до $+0.4$ кпк). Пространственное ($R-z$) распределение газовых конденсаций в исследуемой области Галактики приведено на рис. 3. Вертикальными черточками показана протяженность облаков перпендикулярно плоскости Галактики. На этом рисунке стрелкой отмечено облако, заметно выделяющееся своей отдаленностью от центра Галактики и толщиной. Вероятно, «нестандартность» линейных параметров обнаруженной детали может служить указанием на то, что в самых внешних ($R \geq 20$ кпк) областях Галактики модель плоской кривой вращения оказывается неудовлетворительной [10].

Заключение. На основе наблюдательных данных, полученных на радиотелескопе РАТАН-600, рассчитаны физические параметры (плотности атомов водорода на луче зрения, массы облаков, расстояния от центра Галактики, Солнца и плоскости Галактики, размеры газовых конденсаций перпендикулярно плоскости) деталей тонкой структуры слоя HI в Галактике. Обнаружено существенное различие в средних массах и конфигурации облаков межрукавной и рукавной составляющих слоя газа и протяженности слоя нейтрального водорода

в z -направлении в областях, занимаемых рукавом, и в межрукавном пространстве.

Автор выражает благодарность И. В. Госачинскому за неизменное внимание к работе.

Литература

1. Госачинский И. В. Хаотические движения облаков нейтрального водорода в Персеевом спиральном рукаве // *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО). 1975. 7. С. 96—100.
2. Verschuur G. L. Studies of neutral-hydrogen cloud structure // *Ap. J. Suppl. Ser.* 1900. 27. P. 65—112.
3. Госачинский И. В., Рахимов И. А. Нейтральный водород в области между спиральными рукавами Галактики. Параметры слоя газа // *Астрон. журн.* 1978. 55. P. 22—26.
4. Soukup J. E., Yuan C. Vertical extension of Galactic spiral arms // *Astrophys. J.* 1981. 256. P. 376—385.
5. Quiroga R. J., Schlosser W. The fine structure in local spiral arm // *Astron. and Astrophys.* 1977. 57. P. 455—459.
6. Исследование параметров антенны РАТАН-600 и радиоспектрометра на волне 21 см / Венгер А. П., Госачинский И. В., Грачев В. Г., Рыжков Н. Ф. *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО). 1981. 14. С. 118—124.
7. Кардашев Н. С., Лозинская Т. А., Слепцова Н. Ф. Спиральная структура Галактики по наблюдениям в линии 21 см // *Астрон. журн.* 1964. 41. С. 601—607.
8. Юдаева Н. А. Структура слоя HI в окрестности Внешнего спирального рукава Галактики // *Сообщ. САО.* 1985. 46. P. 77—84.
9. Gunn J. E., Knapp G. R., Tremaine S. D. The global properties of the Galaxy. II: The galactic rotation parameters from 21-cm HI observations // *Astron. J.* 1979. 84. P. 1181—1188.
10. Петровская И. В. Кривая вращения подсистемы нейтрального водорода в Галактике // *Письма в Астрон. журн.* 1979. 5. С. 632—635.

Поступила в редакцию 30 декабря 1986 г.