

ТОНКАЯ СТРУКТУРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НЕЙТРАЛЬНОГО ВОДОРОДА В ПЕРСЕЕВОМ СПИРАЛЬНОМ РУКАВЕ ГАЛАКТИКИ

И. В. Госачинский

Обнаружено, что в исследованных участках Персеев рукав Галактики состоит из диффузного фона и многочисленных концентраций, имеющих вытянутую вдоль рукава форму. Средний размер концентраций 50×200 пс. Возможно, что они состоят из более мелких облаков HI размером около 15 пс. Средняя плотность HI в концентрациях около 3 см^{-3} , полуширина профиля 5 км/сек. В сечении поперек рукава обычно наблюдается 10—15 концентраций.

It is found that in the investigated areas the Perseus arm of the Galaxy consists of a diffused background and numerous concentrations having an elongated shape along the arm. The mean dimensions of the concentrations are 50×200 pc. It is possible that they consist of smaller HI clouds measuring about 15 pc. The mean density of HI in the concentrations is about 3 cm^{-3} , the profile half-width is 5 km/s. In the cross-section of the arm one usually observes from 10 to 15 concentrations.

В результате ряда работ, посвященных исследованию тонкой структуры распределения нейтрального водорода [1, 2], появилась уверенность в справедливости двухкомпонентной модели межзвездной среды. Считается, что более или менее компактные образования газа сравнительно небольшого размера погружены в диффузный газ меньшей плотности и, вероятно, с более высокой температурой. Последний, по-видимому, обеспечивает основное излучение в радиолинии, а более плотные концентрации (и более холодные) проявляют себя главным образом в поглощении излучения дискретных радиоисточников. В работе [1] исследовалась структура HI на промежуточных широтах. В настоящей работе сделана попытка непосредственного исследования деталей малого углового размера в плоскости Галактики в Персеевом спиральном рукаве.

В качестве исходного материала был взят «Обзор радиолинии HI $\lambda=21$ см Мэриленд—Грин Бэнк» [3], выполненный Вестерхаутом на 90-метровом параболаиде. Эффективное угловое разрешение обзора $12.5 \times 10'$, разрешение по лучевым скоростям — 2 км/сек. Сечения плоскости Галактики по прямому восхождению в области $-1^\circ < b < +1^\circ$ были получены через $6'$ по склонению. Относительная ошибка шкалы температур не более $\pm 5\%$, нулевая линия известна с точностью $\pm 1.5^\circ \text{ K}$. Абсолютная ошибка профилей (максимальная) оценивается в $5-10^\circ \text{ K}$ антенной температуры. Предварительная калибровка антенной температуры дает для единицы изофот обзора величину $5 \pm 0.4^\circ \text{ K}$. Соотношение яркостной и антенной температур для 90-метрового зеркала весьма сложное, так как только примерно половина излучения принимается в главном лепестке, а остальное — в так называемой «диаграмме ошибок» [3, 4]. Однако для грубых оценок можно считать, что для объектов размером

порядка $10'$ $T_b = 2.0 T_a \cdot F$, а для областей, размером больше 6° $T_b = 1.1 \times T_a \cdot F$, где F — поправочный множитель, зависящий от склонения области [3].

Чтобы избежать двузначности в зависимости лучевой скорости от расстояния, спиральный рукав исследовался на расстоянии 12—15 кпс от центра Галактики. Для исследования были выбраны площадки размером в несколько квадратных градусов около галактических долгот $l = 49, 89, 144$ и 231° . Несколько менее подробно были исследованы еще две площадки около $l = 12^\circ$ и 199° . Кривые интенсивности радиолинии $T_\nu(\alpha)$ для фиксированной скорости строились для всех площадок графически по данным обзора [3]. Общий вид распределения интенсивности радиолинии Н1 в одной из площадок ($l = 89^\circ$) для двух лучевых скоростей — 46 и —75 км/сек. приведен на рис. 1. Очевидно наличие тонкой структуры в распределении интенсивности радиолинии, причем для деталей характерна вытянутая вдоль плоскости Галактики форма. Аналогичное распределение интенсивности имеет место и в других площадках. Для определения параметров деталей кривые $T_\nu(\alpha)$ подвергались дальнейшей обработке.

Прежде всего на каждом сечении исключался протяженный фон излучения радиолинии. Так как в обзоре [3] размеры области по широте ограничены, такую операцию невозможно сделать только на основании данных обзора. По своей природе фон складывается из двух частей: собственно излучения протяженных областей и излучения, принятого протяженной частью диаграммы направленности 90-метрового зеркала. Для исключения фона были привлечены данные каталога [5]; он получен с диаграммой направленности $1^\circ 9' \times 2^\circ 7'$, и можно полагать, что влияние мелких деталей здесь не существенно. На получившихся после исключения фона кривых были выделены концентрации и определены их антенные температуры, координаты и размеры. Затем производилось отождествление концентраций, расположенных на соседних сечениях. При исключении фона и выделении концентраций по виду кривых появляются дополнительные ошибки измерения, особенно существенные при определении размеров концентраций. Окончательные значения оценки ошибок таковы: для антенной температуры концентраций $\pm 5^\circ$ К (среднеквадратичное значение), для координат — ± 0.05 , для размеров — ± 0.1 . Возможна еще систематическая ошибка антенных температур концентраций, возникающая из-за неуверенности определения общего уровня фона.

Результаты измерения координат концентраций в четырех исследованных площадках в плоскости Галактики для Персея спирального рукава приведены на рис. 2. Зачерненными кружками обозначены надежно выделенные концентрации, т. е. случаи, когда уменьшение интенсивности между максимумами оказывается не менее 20% интенсивности последних. Штриховыми линиями показаны результаты отождествления концентраций на соседних сечениях. Более подробный анализ показывает, что вытянутые образования распадаются в направлении l на несколько деталей меньшего размера, так что в среднем протяженность концентраций по долготе порядка 1° . Видно, что направление большого размера совпадает с основной плоскостью спирального рукава.

Кроме этого, в каждой площадке строились кривые $T_\nu(\alpha)$ (суммарные профили) для фиксированного склонения. После исключения протяженного фона были построены профили деталей, которые приведены на рис. 3. На профилях были выделены гауссовы компоненты, соответствующие различным концентрациям. Исследованный диапазон лучевых скоростей охватывал обычно несколько спиральных рукавов. Нумерация деталей соответствует рис. 2. Цифры над максимумами профилей указывают галактическую широту (b) концентраций. Видно, что соседние (см. рис. 2)

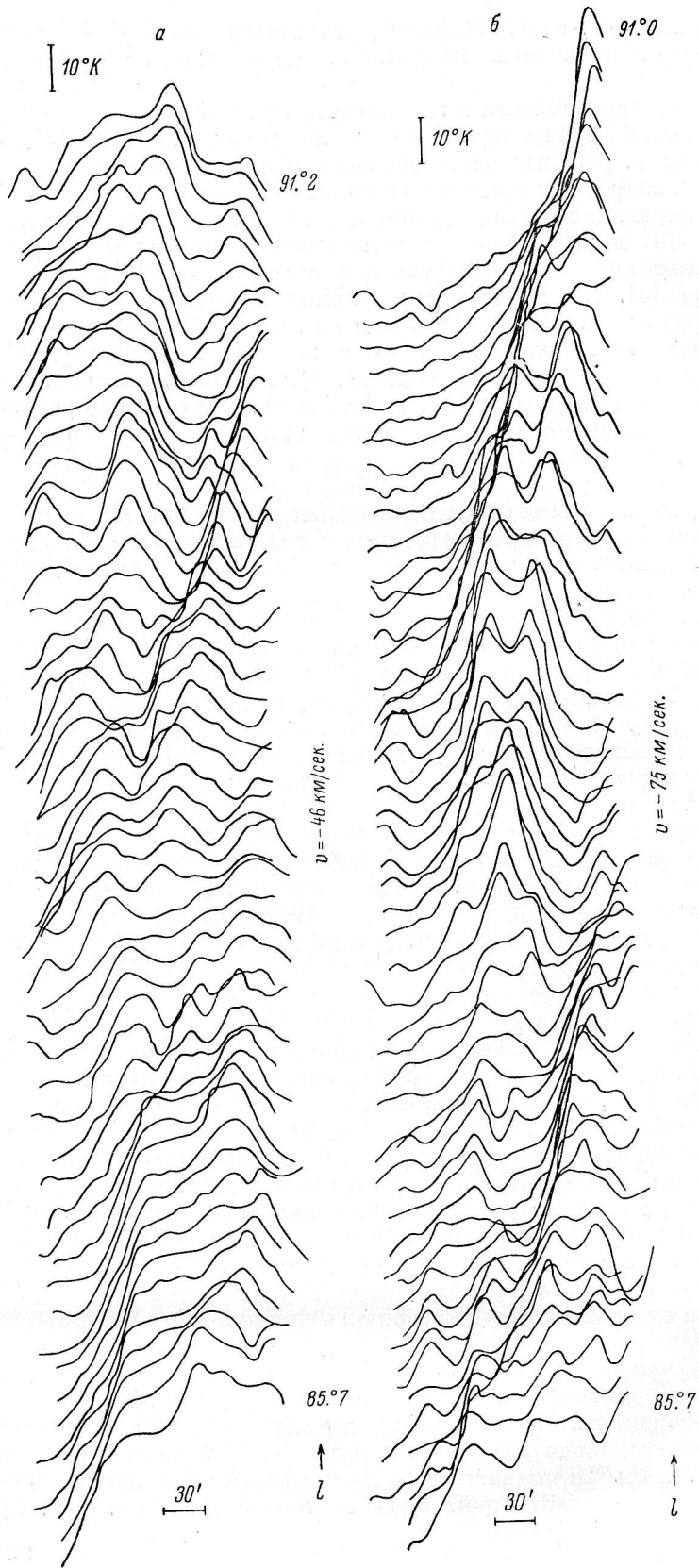


Рис. 1. Распределение интенсивности радиолинии нейтрального водорода в площадке около галактической долготы $l = 81^\circ$ для лучевых скоростей -46 км/сек. (а) и -75 км/сек. (б).

концентрации имеют несколько отличающуюся друг от друга лучевую скорость и, следовательно, находятся на разных расстояниях от Солнца, хотя и в пределах одного спирального рукава. Расстояния до концентраций определялись по их лучевым скоростям с помощью модели дифферен-

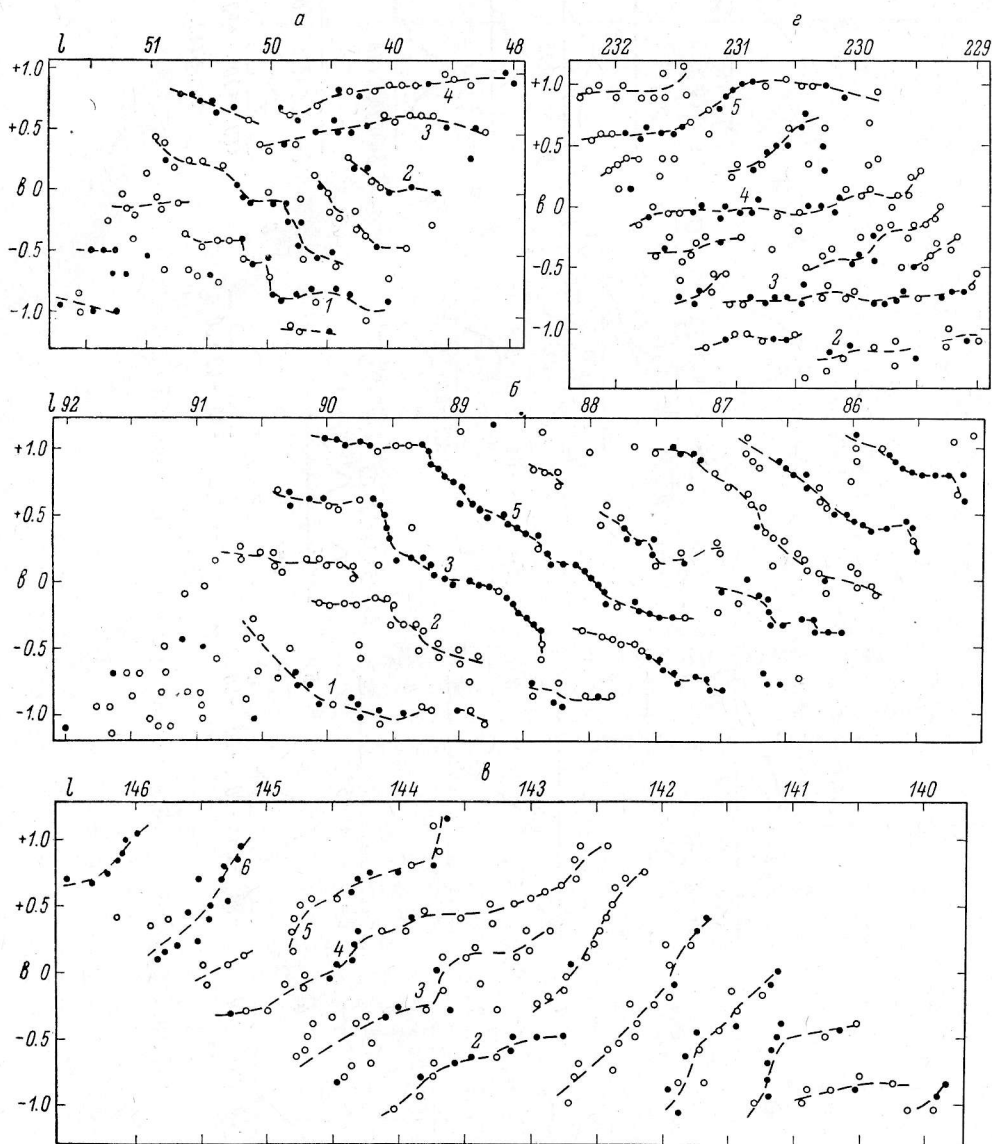


Рис. 2. Координаты концентраций в исследованных площадках Персея спирального рукава Галактики (пояснения в тексте).

a — около $l=49^\circ$, $r=16.8$ кпс, $v=-50$ км/сек.; *b* — около $l=89^\circ$, $r=9.3$ кпс, $v=-75$ км/сек.; *c* — около $l=144^\circ$, $r=3.0$ кпс, $v=-38$ км/сек.; *d* — около $l=231^\circ$, $r=5.5$ кпс, $v=+70$ км/сек.

циального галактического вращения [6]. Результаты измерения концентраций по данным рис. 1, 2 и 3 приведены в таблице. Здесь указаны их координаты (l , b), лучевые скорости (v), антенные температуры (T_a), полуширины профилей ($\Delta\nu$), расстояния от Солнца (r), угловые размеры по уровню 0.5 максимальной интенсивности, линейные размеры в направлении z -координаты (Δz), яркостные температуры (T_b) и количество атомов HI

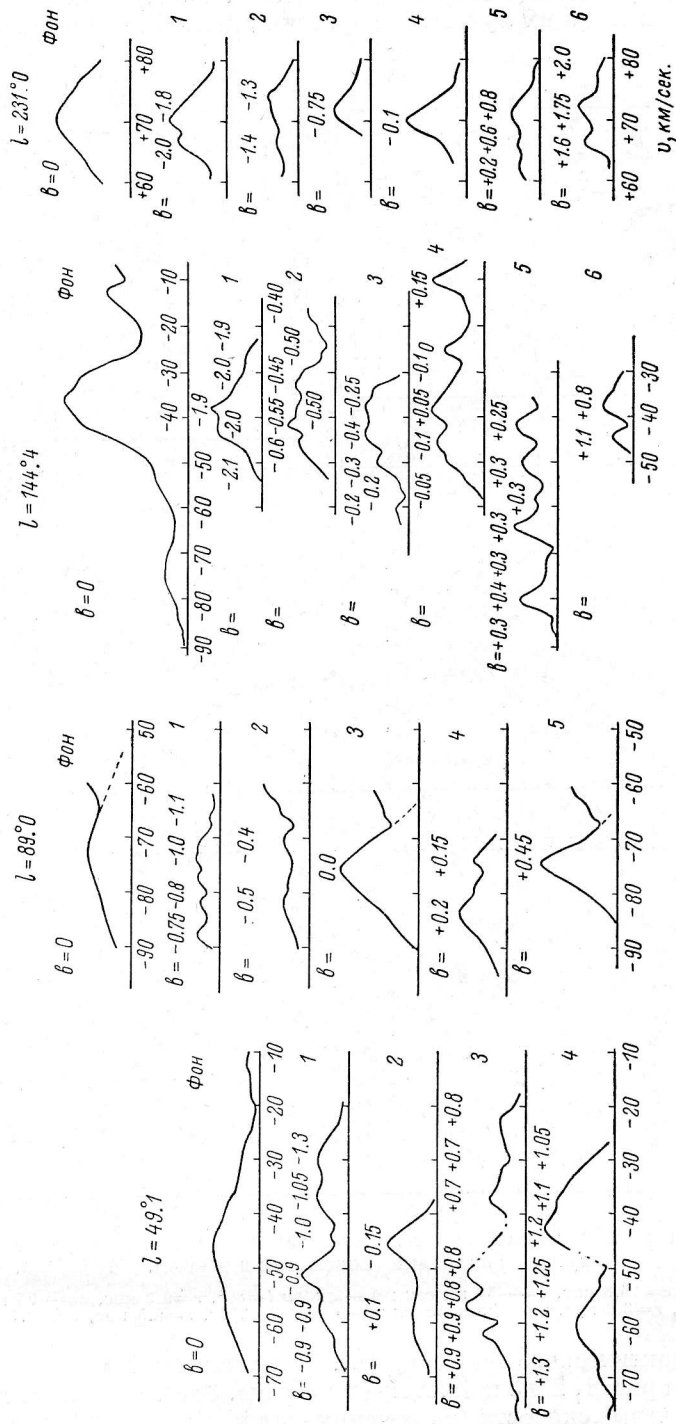


Рис. 3. Профили деталей в исследованных площадках (пояснения в тексте).

Параметры концентраций

l	b	v , км/сек.	T_a , °К	Δv , км/сек.	r , кпс	Угловые размеры	Δz , пс	T_b , °К	N_H , 10^{20} см $^{-2}$
49.°1	-0.°9	-51	21	5.7	16.9	12'×0.°7	59	44	5.8
	-0.15	-46	23	7.8	16.4	11×1	52	48	8.7
	+0.9	-51	26	5.7	16.9	11×2	54	54	7.6
	+1.25	-52	7	4.6	17.0	7×1	35	14	1.4
89.0	-0.85	-75	10	3.5	9.4	15×?	41	20	1.4
	-0.4	-71	12	6.7	9.1	20×0.7	53	24	3.3
	0	-76	36	10.8	9.6	25×2	70	72	22.0
	+0.45	-75	34	9.8	9.4	24×?	65	68	18.0
144.4	-1.95	-38	22	4.6	3.1	15×?	14	44	5.4
	-0.50	-39	20	6.7	3.2	13×1	12	40	6.0
	-0.25	-39	23	5.7	3.2	10×1	9	46	6.1
	+0.05	-38	28	6.7	3.1	15×0.7	14	57	9.7
	+0.25	-42	22	5.7	3.5	15×0.3	15	44	5.8
	+0.8	-38	16	4.6	3.1	24×0.3	22	32	3.2
231.0	-1.8	+71	19	4.6	5.5	29×0.7	46	48	5.2
	-1.3	+74	13	5.7	5.8	27×0.3	45	31	3.8
	-0.75	+72	15	5.7	5.6	20×1	32	36	4.6
	-0.1	+70	25	5.7	5.4	26×0.7	41	60	8.8
	+0.8	+71	12	5.7	5.5	38×0.7	61	29	3.5
	+1.75	+72	14	4.6	5.6	32×0.7	52	34	3.4

в столбе сечением 1 см² (N_H), при условии, что температура возбуждения линии $\lambda=21$ см равна 120° К. В таблице приведены только те концентрации Персеева рукава, для которых были измерены их угловые размеры.

На рис. 4 приведена зависимость средних по площадкам линейных размеров концентраций в направлении z -координаты от расстояния r . Видно, что для долгот 49, 89 и 231° средний линейный размер концентрации мало меняется вдоль рукава и составляет около 50 пс. Резкое уменьшение линейного размера концентраций на $l=144^\circ$ ($r=3.1$ кпс) можно объяснить разрешением основных концентраций на ряд более мелких из-за близости исследуемой области к Солнцу. В этом случае можно сделать заключение, что наименьшей структурной деталью, которую можно обнаружить в исследованных площадках Персеева рукава, является облако с размером около 15 пс, в направлении, перпендикулярном плоскости Галактики. Размер концентрации вдоль рукава обычно больше и равен в среднем 150—200 пс.

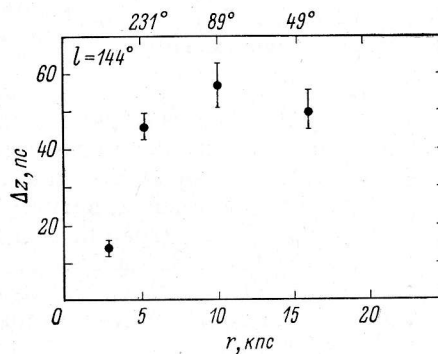


Рис. 4. Зависимость средних линейных размеров концентраций (Δz) от расстояния (r).

Размер концентрации по лучу зрения оценить труднее. Полуширина профилей концентраций соответствует в среднем 5 км/сек. Неизвестно, какая доля этого уширения обуславливается дифференциальным галактическим вращением за счет протяженности концентрации по лучу зрения. Однако, как видно из рис. 5 ($l=231^\circ$), z -координаты концентраций (штриховые линии), измеренные в пределах их профилей в предположе-

нии о том, что профиль целиком определяется дифференциальным галактическим вращением, изменяются в зависимости от расстояния (r) так, как если бы все концентрации были вытянуты точно по лучу зрения, направленному на Солнце, что представляется маловероятным. Аналогичный эффект наблюдается и во всех остальных площадках не только для Пер-

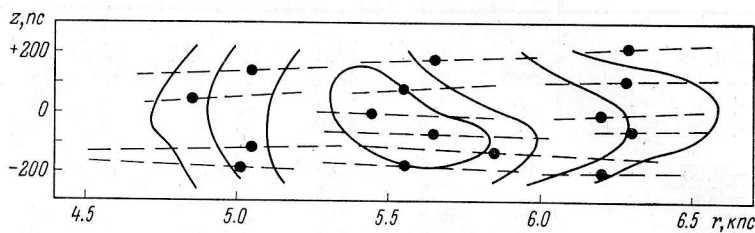


Рис. 5. Распределение концентраций в поперечном сечении Персеева рукава в площадке около $l=231^\circ$.

сева рукава, но и для всех рукавов, расположенных на расстояниях от центра Галактики $R > 10$ кпс. Можно, следовательно, полагать, что дифференциальное галактическое вращение не участвует в образовании профиля концентрации и он целиком определяется тепловым движением атомов HI и хаотическим движением облаков, составляющих концент-

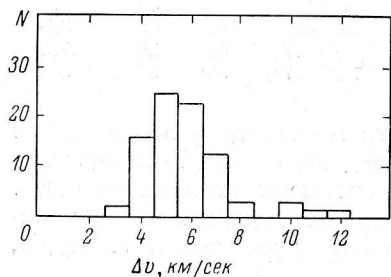


Рис. 6. Распределение концентраций по полуширинам профилей.

центрацию. Если в первом приближении считать, что размер концентрации по r того же порядка, что и по z , то можно оценить среднюю плотность атомов HI в концентрации, составляющую 3 см^{-3} . На рис. 5 точками показано также расположение концентраций в поперечном сечении Персеева рукава на $l=231^\circ$, и, кроме перечисленных в таблице, отмечены концентрации, данные о которых можно получить по профилям рис. 3. Распределение плотности HI в рукаве в целом (сплошные линии) взято из [7].

К сожалению, нет никаких данных для оценки кинетической температуры концентраций по полуширинам их профилей. Распределение концентраций по полуширинам их профилей приведено на рис. 6, где учтены концентрации не только Персеева рукава, но и некоторых соседних. Малых значений полуширины, свидетельствующих о низкой кинетической температуре, нет, однако полуширина профилей концентраций всегда в 2—3 раза меньше, чем в областях протяженного фона. Это можно объяснить скорее большими хаотическими движениями в последних. Решить вопрос о кинетической температуре можно было бы по наблюдениям подходящих дискретных радиоисточников в линии поглощения.

Литература

1. В. Н. Grahl et al., MPJ-Beiträge zur Radioastronomie, **1**, No. 1, 3, 1968.
2. R. N. Manchester et al., Astrophys. Lett., **4**, No. 6, 229, 1969.
3. G. Westerhout. Maryland—Green Bank Galactic 21-cm Line Survey. Second Edition, Univ. of Maryland, 1969.
4. C. Heiles, W. Hoffman, Astr. J., **73**, No. 6, 412, 1968.
5. C. A. Muller, G. Westerhout, Bull. astr. Inst. Netherl., **13**, No. 475, 151, 1957.
6. IAU Inf. Bull., No. 41, 1963.
7. G. Westerhout, Bull. astr. Inst. Netherl., **13**, No. 475, 201, 1957.

Декабрь 1970 г.