

ХАОТИЧЕСКИЕ ДВИЖЕНИЯ ОБЛАКОВ НЕЙТРАЛЬНОГО ВОДОРОДА В ПЕРСЕЕВОМ СПИРАЛЬНОМ РУКАВЕ

И. В. Госачинский

Приведены результаты измерения дисперсии лучевых скоростей хаотического движения облаков HI внутри комплексов размером 50×200 пс в Персеевом спиральном рукаве Галактики по данным Мэрилендского каталога радиолиний нейтрального водорода. Средняя дисперсия оказалась равной 2.9 ± 0.1 км/сек., зависимости ее от угла между лучом зрения и рукавом не обнаружено. Характер движения комплексов в целом внутри спирального рукава, вероятно, свидетельствует о разделении рукава по крайней мере на две ветви.

Results of radial — velocity dispersion measurements, using the data of Maryland Catalogue, are presented for random motions of H I clouds within complexes of 50×200 pc in the Perseus spiral arm of the Galaxy. The mean dispersion is found to be 2.9 ± 0.1 km/sec.; any dependence on the angle between the line of sight and the spiral arm is not detected. The character of the motion of the complexes in the arm, probably, indicates that the arm consists of, at least, two branches.

В работе [1] были исследованы в четырех площадках Персея спирального рукава характеристики довольно четко выделяющихся деталей распределения нейтрального водорода, которые можно рассматривать как комплексы облаков, имеющие в среднем форму, вытянутую вдоль рукава. Размеры комплексов по z -координате оказались примерно 50 пс, вдоль рукава — 200 пс (этот размер определялся менее уверенно). Средняя концентрация HI в комплексах $n_{\text{H}} \sim 3$ см⁻³, дисперсия скоростей внутренних движений $\sigma \sim 3$ км/сек.⁻¹ Было показано, что дифференциальное галактическое вращение не оказывает влияния на профиль линии HI каждого отдельного комплекса, что, естественно, связано со сравнительно небольшой протяженностью их по лучу зрения. В поперечном сечении через рукав наблюдается 10—15 комплексов, а на луче зрения — 2—3 комплекса. Было высказано также предположение, что наблюдающиеся вдоль всего рукава комплексы составляют однородную структурную группу, имеющую масштаб, промежуточный между облаками и крупными деталями спиральных рукавов.

В настоящей работе приведены результаты подробного исследования дисперсии скоростей движения облаков внутри этих образований в том же спиральном рукаве. Исходным материалом, как и в [1], служил «Обзор профилей радиолинии $\lambda=21$ см Мэриленд—Грин Бэнк» [2].

Дисперсия скоростей σ_r была измерена для 175 профилей комплексов облаков в 14 площадках Персея спирального рукава около плоскости $b=0$ размером примерно $2^\circ \times 2^\circ$ (табл. 1). Излучение комплексов отделялось от фона, так же, как и в [1], за исключением того, что применялась более сложная процедура выделения фона излучения диффузной межоблачной среды, так как ошибки в уровне фона сильно влияют на измерение σ_r .

Выделение фона производилось в несколько этапов.

ТАБЛИЦА 1

l	\bar{v} , км/сек.	\bar{r} , кпс	R , кпс	θ	n	σ , км/сек.	$\frac{dv/dr}{\text{км/сек} \cdot \text{сек} \cdot \text{кпс}}$
30°	-18	18.8	11.3	82°	10	2.9±0.14	10.5
35	-26	18.4	11.8	85	17	2.92±0.12	11.0
49	-50	16.8	12.6	62	14	2.95±0.08	12.0
57	-55	15.1	13.0	55	14	2.93±0.1	12.0
65	-58	13.4	13.1	45	21	2.86±0.09	12.5
70	-74	12.9	13.0	45	5	2.80±0.1	12.5
79	-75	10.8	13.1	40	17	2.85±0.1	12.0
89	-79	9.2	13.0	32	10	3.00±0.12	12.5
94	-68	7.35	13.0	25	14	2.95±0.2	12.0
98	-66	6.6	12.6	30	9	2.82±0.14	11.5
103	-50	5.0	12.5	25	10	2.70±0.17	12.0
144	-35	2.9	12.7	60	19	2.64±0.1	10.0
159	-24	2.4	12.8	85	10	2.57±0.1	7.0
231	+71	5.6	14.3	62	8	2.95±0.1	10.0

1) На каждой лучевой скорости (через 2 км/сек.⁻¹) кривые прохождения интерполировались на месте излучения комплекса по прямому восхождению.

2) Далее предполагалось, что на каждой лучевой скорости излучение фона вдоль линий, параллельных галактическому экватору, в пределах интервала долгот порядка нескольких градусов меняется мало. На этом основании из всех интерполированных значений антенной температуры излучения фона на данной лучевой скорости и на данной широте выбиралось наименьшее.

3) После этого в ряде точек площадки строились профили линии излучения фона, которые затем сглаживались для исключения случайных ошибок.

4) Грубые ошибки контролировались с помощью сравнения профилей фона в этих точках по полуширине и центральной лучевой скорости в предположении, что на интервалах порядка нескольких градусов кинематика фона не должна существенно меняться.

5) Для контроля систематических отклонений от площадки к площадке профили фона сравнивались с профилями общего излучения радиолинии, полученными на малых антеннах [3]. Предполагалось, что широкая диаграмма направленности малых антенн существенно сглаживает излучение деталей малого углового размера.

Полученное таким образом распределение излучения фона по лучевым скоростям и прямому восхождению служило основой для выделения излучения комплексов и построения их профилей. Для упрощения коррекция за диаграмму антенны вводилась лишь для средней дисперсии комплексов в площадке (см. ниже), а также измерялись лишь те комплексы, которые достаточно хорошо отделялись друг от друга (минимум между ними не менее $\frac{1}{4}$ максимумов). Дисперсия скоростей измерялась только для тех профилей, у которых лучевые скорости максимумов излучения отстояли друг от друга не менее, чем на 2σ . Небольшое количество ($\sim 7\%$) тесных бленд не включалось в измерение.

После этого вычислялось среднее значение дисперсии профилей антенной температуры комплексов данной площадки, которое пересчитывалось в дисперсию профилей оптической толщины. Необходимая для этого средняя яркостная температура вычислялась по средней антенной температуре комплексов в каждой площадке с учетом потерь в антенне [2, 4] и поправки за антенное сглаживание. Последняя вычислялась на основе средних угловых размеров комплексов. Расстояния комплексов от Солнца

вычислялись по их лучевым скоростям и модели галактического вращения [5]. Кроме того, определялся угол между лучом зрения и касательной к спиральному рукаву θ . Положение максимума спирального рукава в диапазоне $\pm 5^\circ$ по долготе от каждой площадки определялось с помощью модели [5] и средних лучевых скоростей рукава, взятых из [2] и [6]. Результаты измерений приведены в табл. 1 вместе с количеством комплексов в каждой площадке n и величиной производной лучевой скорости по расстоянию от Солнца dv/dr .

На рис. 1 вертикальные черточки представляют удвоенную среднеквадратичную ошибку определения величины σ , формально подсчитанную по отклонениям от среднего индивидуальных значений дисперсий комплексов в данной площадке. В эту величину входят как ошибки измере-

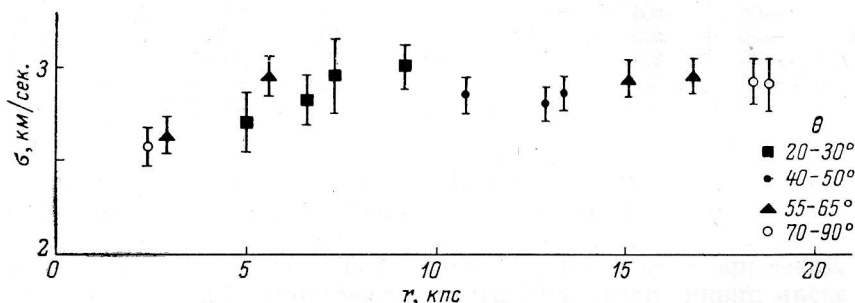


Рис. 1. Зависимость средней дисперсии скоростей σ от расстояния r и угла θ .

ния антенных температур и выделения фона, так и реальный разброс дисперсий и антенных температур комплексов. Следует заметить, что, поскольку средние угловые размеры комплексов не измерялись, а вычислялись по некоторой принятой модели в соответствии с расстоянием до данной площадки спирального рукава, при пересчете дисперсий профилей антенной температуры в дисперсии профилей оптической толщины может появиться некоторая систематическая ошибка (возможно, она зависит от расстояния), если принятая модель существенно отличается от реальной ситуации. Можно, однако, показать, что эта ошибка вряд ли будет больше 10%.

Интересно рассмотреть также характер движения комплексов относительно друг друга. К сожалению, в каждой отдельной площадке этого сделать нельзя, так как количество исследованных комплексов мало. Можно, однако, заметить, что для всех исследованных площадок, кроме одной, влияние дифференциального галактического вращения на лучевые скорости различается не более чем на 30% (табл. 1). Поэтому относительное движение комплексов можно исследовать в среднем по всем площадкам. Для этого в каждой площадке вычислялась средняя лучевая скорость комплексов v , а затем распределение комплексов по величинам $v-v_i$ наносилось на общий график (рис. 2). Штриховая линия представляет сглаженное распределение.

Приведенные выше данные относительно движения облаков и комплексов позволяют сделать следующие выводы.

1) Средние дисперсии движения облаков внутри комплексов на разных долготах весьма близки; это подтверждает предположение о том, что выделенные нами в разных частях рукава детали действительно представляют однородную структурную группу. Величина дисперсии составляет 2.9 ± 0.1 км/сек.

2) Заметное уменьшение σ с расстоянием в диапазоне r от 2.5 до 7 кпс, естественно, объясняется частичным разрешением комплексов по крайней

мере по одной координате, так как для $r < 7$ кпс линейный размер диаграммы направленности антенны меньше 30—40 пс. Характер кривых прохождения комплексов, полученных в ближайших к Солнцу площадках, подтверждает такое объяснение.

3) Интересно, что в имеющемся диапазоне углов θ нельзя усмотреть никакой зависимости σ от θ . Выше мы отмечали, что комплексы, по-видимому, имеют небольшие линейные размеры по r , так что дифференциальное галактическое вращение практически не влияет на профиль комплекса. Кроме того, величина dv/dr в обследованном диапазоне долгот меняется мало. Следовательно, речь может идти об оценке реальной анизотропии

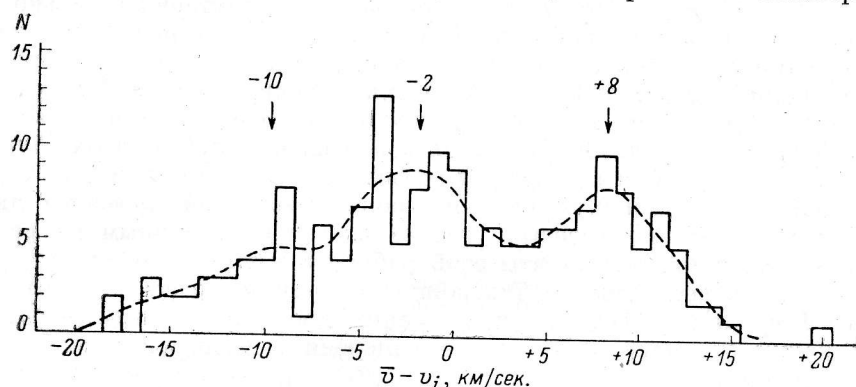


Рис. 2. Распределение относительных скоростей комплексов облаков.

дисперсии движения облаков внутри комплекса. Если фазовый угол такой анизотропии по θ совершенно произвольный, то амплитуду первой гармоники по θ можно оценить как $\Delta\sigma < 0.4$ км/сек.⁻¹, т. е. $\Delta\sigma/\sigma < 15\%$. Если же мы фиксируем начальный фазовый угол анизотропии, например, будем считать, что большая ось эллипса направлена вдоль рукава, то в этом последнем случае оценка станет жестче: $\Delta\sigma/\sigma < 3\%$. Амплитуды более высоких гармоник также оцениваются как $\Delta\sigma/\sigma < 3-4\%$.

4) В распределении комплексов по их относительным скоростям заметно отсутствие симметрии — сглаженное распределение весьма далеко от гауссовой формы. Для контроля этого обстоятельства такие распределения были построены отдельно для четырех групп комплексов, распределенных по значениям θ . Оказалось, что, несмотря на меньшее количество комплексов, характерное отсутствие симметрии сохраняется в каждой группе. Наличие по крайней мере двух максимумов в распределении комплексов по их относительным движениям может быть связано с некоторыми характерными особенностями движения облаков внутри спиральной ветви, возникающими в результате действия на газ спиральной ударной волны [7, 8]. Кажется, однако, странным, что комплексы в этих группах, видимо, не отличаются друг от друга ни по средней антенной температуре, ни по значениям полуширины их профилей (табл. 2). В ка-

ТАБЛИЦА 2

$\bar{v} - v_i$, км/сек.	n	T_A , °К	$\overline{\Delta v}$, км/сек.	$\overline{\Delta R}$, кпс
Меньше -7	33	17.2	8.6	-0.73
От -7 до +3	77	20.9	8.5	-0.17
Больше +3	65	18.7	8.6	+0.54

честве альтернативного объяснения можно предложить разделение спирального рукава на две (может быть, три) ветви, расстояние между которыми составляет примерно 0.6 кпс. В этом случае характер распределения комплексов по относительным скоростям будет определяться геометрическим расположением этих ветвей, а также количеством комплексов, относящихся к каждой ветви.

В заключение следует остановиться на результатах работ [9, 10], в которых также исследовалась анизотропия хаотических движений облаков. В работе [9] было обнаружено увеличение скорости движения облаков вдоль спирального рукава по оптическим межзвездным линиям из каталога Адамса. Это явление оказалось характерным только для облаков с большими скоростями. Известно, однако, что оптические линии с большими лучевыми скоростями плохо коррелируют с деталями профилей линии $\lambda=21$ см [11] в противоположность линиям с $|v| < 20$ км/сек., где корреляция весьма высокая. Следовательно, формально противоречия результатов [9] с нашими нет, а речь может идти лишь о разных областях излучения этих линий с различными физическими условиями.

В работе [10] обнаружена анизотропия дисперсий профилей линии HI $\lambda=21$ см, однако фазовый угол ее оказался различным на разных широтах. Сравнить результаты этой работы с нашими довольно трудно, так как в ней исследовался ближайший к Солнцу газ (т. е. другой спиральный рукав); не ясно также, к каким пространственным масштабам (и к каким структурам) относятся измеренные дисперсии; необходимы дополнительные исследования.

Литература

1. И. В. Госачинский, *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО), 4, 136, 1972.
2. G. Westerhout, *Maryland—Green Bank Galactic 21-cm Line Survey*, Second Edition. Univ. of Maryland, 1969.
3. C. A. Muller, G. Westerhout, *Bull. astron. Inst. Netherl.*, 13, 151, 1957.
4. C. Heiles, W. Hoffman, *Astron. J.*, 75, 412, 1968.
5. *IAU Information Bulletin*, No. 11, 1963.
6. Н. С. Кардашев, Т. А. Лозинская, Н. Ф. Слепцова, *Астрон. ж.*, 41, 601, 1964.
7. W. W. Roberts, *Astrophys. J.*, 173, 259, 1972.
8. F. H. Shuea, *Astrophys. J.*, 173, 557, 1972.
9. С. Б. Пикельнер, Л. П. Метик, *Изв. Крымск. астрофиз. обс.*, 18, 198, 1958.
10. K. Takakuba, *Bull. astron. Inst. Netherl.*, 19, 125, 1967.
11. D. Goniadzy, *Astron. Astrophys.*, 17, 378, 1972.