

УДК 524.5+524.622

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ ДО МЕЖЗВЕЗДНЫХ ОБЛАКОВ ПО ЛИНИЯМ ПОГЛОЩЕНИЯ OH

И. Г. КОЛЕСНИК, Л. В. ЮРЕВИЧ

Поступила 21 июля 1982

Принята к печати 25 мая 1983

Показано, что полуширины ΔV и глубины T_A линий поглощения OH дают параметр $\delta = \sqrt{\Delta V / T_A}$, линейно меняющийся с расстоянием R до поглощающих облаков. Наклон прямой $\delta(R)$ зависит от ширины диаграммы направленности радиотелескопа. Предлагается интерпретация полученной зависимости. Приведены примеры использования $\delta(R)$ для определения расстояний и кинематических характеристик межзвездных облаков. В отличие от кинематического метода, зависимость $\delta(R)$ позволяет получать однозначные и не отягощенные пекулярными движениями расстояния до межзвездных облаков.

1. Данные о расстояниях до галактических объектов основываются главным образом на использовании кривой вращения Галактики. В первом приближении она описывается моделью кругового вращения [1]. Более точная кривая вращения получается из теории волн плотности на основании данных о распределении нейтрального водорода в Галактике [2], а также по распределению других межзвездных молекул, например, CO [3].

Кривая галактического вращения позволяет однозначно определять расстояния только для объектов, расположенных на галактоцентрических расстояниях, больших R_0 — расстояния Солнца от центра Галактики. Для объектов, находящихся внутри окружности радиуса R_0 , одному и тому же значению лучевой скорости соответствуют два возможных расстояния до Солнца. Для определения действительного расстояния до объекта обычно привлекают данные о линиях поглощения, которые образуются в облаках, расположенных на луче зрения между областью радиоизлучения исследуемого объекта и наблюдателем [4]. Этот метод можно надежно применять, если разности лучевых скоростей исследуемого объекта и вспомогательных линий поглощения превосходят среднеквадратическую скорость пекулярных движений облаков в межзвездной среде. Обычно считается, что скорость таких движений не превосходит 10 км/с. Однако выявление в плос-

кости Галактики облаков с пекулярными скоростями в 20—30 км/с и выше [5—7] показывает, что в ряде случаев этот метод неприменим.

Кроме того, по кривой вращения нельзя определять расстояния до объектов, расположенных вблизи галактических долгот 0° и 180° . При этом для отдельных высокоскоростных деталей, таких, как 3-кпс расширяющийся рукав, расстояния можно определить косвенными методами [8]. В работе [9] показано, что данные о градиенте лучевой скорости расширяют возможности определения расстояний в этих направлениях.

Все это показывает, что заслуживает серьезного внимания поиск таких методов определения расстояний, которые были бы свободны от перечисленных выше ограничений. В данной работе показано, что, основываясь на информации о параметрах линии поглощения ОН, можно определять расстояния до межзвездных облаков. Обсуждается точность определения расстояний и границы применимости метода. Предлагается объяснение полученной зависимости параметров линии поглощения от расстояния.

2. При исследовании «Обзора ОН вблизи галактической плоскости» Тернера [10] было обнаружено систематическое увеличение полуширин линий поглощения ОН с ростом их лучевых скоростей. При этом глубины линий, характеризующиеся антенной температурой, уменьшаются. Эта закономерность представлена на рис. 1, где показаны отдельные линии поглощения ОН из работы [10], наблюдаемые в направлении девяти разных

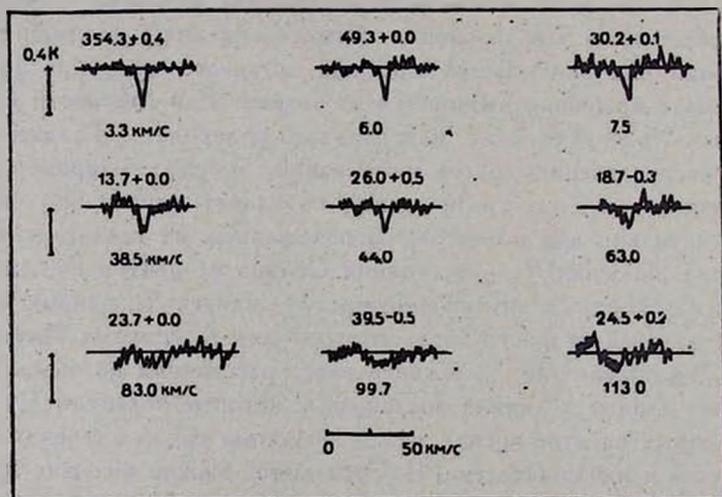


Рис. 1. Характерное поведение профилей линий поглощения ОН на частоте 1667 МГц с ростом лучевой скорости поглощающих облаков. Галактические координаты указаны над профилями, внизу каждого профиля указаны лучевые скорости облаков [10].

областей радиоизлучения на частоте 1667 МГц. При наличии на луче зрения нескольких поглощающих облаков изменение линий поглощения с лучевой скоростью имеет вид, изображенный на рис. 2. Здесь представлены записи линий поглощения ОН в направлении двух источников радиоизлучения: 22.6+0.0 и 34.5—0.3 на той же частоте.

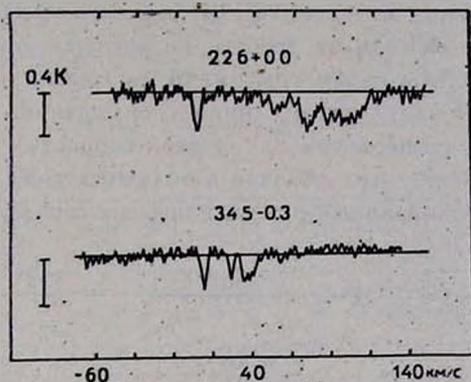


Рис. 2. Регистрограммы линий поглощения ОН на частоте 1667 МГц в направлениях 22.6+0.0 и 34.5—0.3 в диапазоне лучевых скоростей $-60 \div 140$ км/с [10].

Итак, существует систематическое изменение параметров линий поглощения ОН с увеличением лучевой скорости. Это создало предпосылку для предположения, что параметры линий поглощения ОН могут зависеть от расстояния до облаков, в которых они формируются.

Для проверки этого предположения необходимо было иметь выборку облаков с хорошо определенными расстояниями. В качестве такой выборки были использованы данные об облаках, связанных с областями Н II, до которых имеются хорошо определенные расстояния. В настоящее время установлено, что молекулярные облака, генетически связанные с областями Н II, должны обладать близкими с ними лучевыми скоростями. Согласно Робинсону и др. [11], для 75% изученных авторами облаков ОН, связанных с областями Н II, разности лучевых скоростей рекомбинационной радиолинии Н 109 α и гидроксила $|V_{\text{Н } 109 \alpha} - V_{\text{ОН}}| \lesssim 10$ км/с. По этому условию нами приписывалось облаку ОН расстояние, равное расстоянию связанной с ним областью Н II. В отдельных случаях принималось расстояние по кривой вращения Галактики.

Используя этот критерий, из работы [10] мы отобрали 80 облаков и облачных комплексов, имеющих линии поглощения на частотах 1665 и 1667 МГц. При этом отбирались источники с чистыми изолированными линиями поглощения, по возможности не искаженными эмиссией мазерного излучения.

Список областей радиоизлучения и параметры линий поглощения ОН приведены в табл. 1. В столбце 1 даны галактические координаты источников: долгота l'' и широта b'' , в столбце 2—названия источников, в столбцах 3 и 4 приведены лучевые скорости рекомбинационных линий ионизованного водорода Н 109 α и Н 110 α (для источников 21.8—0.3 и 41.1—0.3 приведены лучевые скорости нейтрального водорода Н I). В пятом столбце даны расстояния до областей Н II, принятые в качестве расстояний до облаков ОН, в 6—ссылки на работы, из которых взяты расстояния. В столбцах 7—9 приведены параметры линий поглощения ОН на частоте 1665 МГц, в 12—14—параметры линий поглощения ОН на частоте 1667 МГц: антенная температура T_A , лучевая скорость V_{OH} и полуширина линии ΔV . Расположение этих облаков и облачных комплексов в Галактике показано на рис. 3. Спиральные рукава нанесены согласно работе [13].

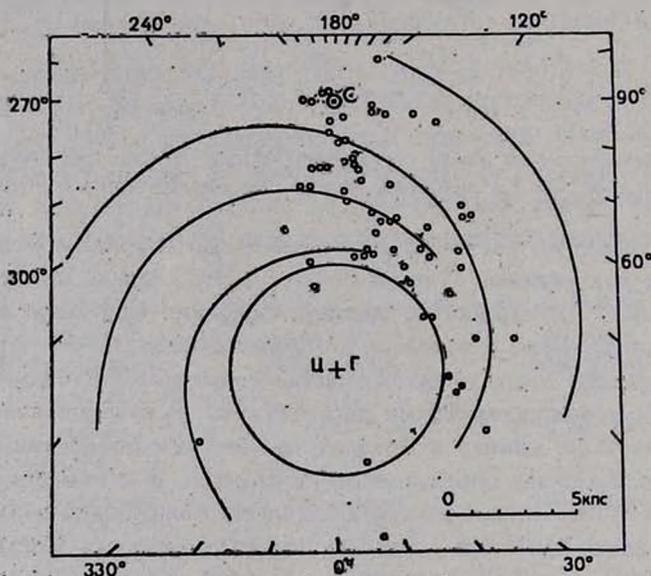


Рис. 3. Расположение исследуемых облаков и облачных комплексов в Галактике. Спиральные рукава проведены согласно работе [13]. С — Солнце; ЦГ — центр Галактики.

Исследование закономерностей, изменения полуширин и глубин линий поглощения ОН показало, что величина $\delta = \sqrt{\Delta V / T_A}$ статистически линейно возрастает с расстоянием до поглощающего облака. Значения δ для линий поглощения отдельных облаков ОН даны в 10 и 15 столбцах табл. 1. В ряде случаев для линий поглощения облаков, принадлежащих одному облачному комплексу, приведены величины $\bar{\delta}$, усредненные для этого

l^{II} b^{II}	Источник	$V_{H 109a}$ км/с	$V_{H 110a}$ км/с	R кпс	Литера- тура
1	2	3	4	5	6
5.5—0.2			22.0	14.0	[12]
6.2—1.2			2.0	1.5	[13]
6.4—0.4	W 28	14.2		3.5	[14]
6.6—0.1			12.5	17.0	[12]
7.0—0.2	M 20	16.4		3.7	[15]
8.4—0.3			36.0	6.0	[12]
8.7—0.4			40.0	6.0	[12]
10.1—0.4			12.0	6.0	[12]
10.2—0.4	W 31		13.0	6.0	[12]
10.2—0.4			3.5	6.0	[12]
10.3—0.2			12.0	6.0	[12]
13.2+0.1	W 33	57.0		6.0	[15]
13.4+0.1			18.0	6.0	[12]
14.5—0.7			11.5	1.5	[12]
15.1—0.7			19.0	2.2	[12]
15.2—0.6	M 17		11.7	2.2	[12]
15.2—0.8			20.0	2.2	[12]
15.1—0.9			19.0	2.3	[12]
16.9+1.0			25.5	2.8	[12]
17.0+0.8		24.5	23.5	2.8	[12]
18.6+1.9	W 35	32.9		3.2	[15]

Таблица 1

1665 МГ _{II}					1667 МГ _{II}				
T_A К	V_{OH} км/с	ΔV км/с	δ $\sqrt{\text{км}/(\text{с К})}$		T_A К	V_{OH} км/с	ΔV км/с	δ $\sqrt{\text{км}/(\text{с К})}$	
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
-0.08	8.8	10.0	11.18		-0.15	8.8	10.0	8.17	
					-0.24	5.5	2.1	3.06	
-0.94	7.1	12.4	3.63		-1.22	7.1	12.4	3.19	
-0.11	-22.1	13.0	10.87						
-0.25	19.0	4.0	4.00		-0.35	19.0	3.4	3.12	
-0.15	37.0	5.0	5.77	5.34	-0.25	37.0	5.0	4.47	
-0.15	34.7	3.6	4.90		-0.16	34.7	4.3	5.18	4.83
-0.65	12.0	10.0	3.92		-0.75	12.0	12.0	4.00	
-1.25	11.0	8.0	2.53						
-0.22	0.8	5.5	5.00	3.91					
-0.53	11.2	9.3	4.19						
-0.35	53.0	7.0	4.47		-0.40	53.0	6.0	3.87	
-0.26	11.5	9.6	6.08		-0.45	11.5	9.6	4.62	
-0.55	20.0	6.0	3.30		-1.1	20.0	4.0	1.91	
-1.1	19.5	5.5	2.24	2.74	-2.0	19.5	5.5	1.66	
-0.45	11.0	6.8	3.89		-0.60	11.0	5.1	2.92	2.03
-1.25	19.0	5.5	2.10		-2.40	19.0	5.5	1.51	
-1.45	19.5	5.5	1.95		-2.10	19.5	5.5	1.62	
-0.42	19.5	2.7	2.54	3.25	-0.56	19.5	2.7	2.20	
-0.35	20.6	5.5	3.96		-0.51	19.5	5.5	3.28	2.74
-0.15	27.5	4.1	5.23		-0.20	27.5	4.1	4.53	

РАССТОЯНИЕ МЕЖЗВЕЗДНЫХ ОБЛАКОВ

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
18.9-0.5			67.0	5.4	[12]	-0.35	66.0	7.0	4.47	4.51	-0.40	65.0	7.0	4.18	4.11
19.0-0.3			61.0	5.4	[12]	-0.34	63.0	7.0	4.54		-0.53	63.5	8.6	4.03	
19.6-0.1			61.0	4.5	[12]	-0.20	71.4	6.4	5.66	5.41	-0.22	72.2	4.9	4.72	4.09
20.1-0.1			46.0	4.5	[12]	-0.15	66.0	4.0	5.16		-0.25	65.0	3.0	3.46	
21.8-0.3		58.0*		4.8	[16]	-0.15	51.5	3.0	4.47		-0.15	50.5	5.0	5.77	
22.8-0.3	W 41	82.5		12.1	[15]	-0.10	105.0	10.0	10.00		-0.15	105.0	10.0	8.16	
23.4-0.2		79.7		6.1	[15]	-0.45	78.5	6.0	3.65		-0.60	79.5	5.0	2.89	
23.4-0.2		101.5		7.6	[15]	-0.42	98.5	7.5	4.23		-0.48	99.1	7.6	3.98	
23.5+0.0		91.8		6.9	[15]	-0.20	96.0	4.0	4.47		-0.50	97.0	5.0	3.16	
23.5-0.0			91.0	11.6	[12]	-0.14	75.2	8.5	7.79		-0.19	79.0	6.8	5.98	
23.7+0.2			108.0	9.0	[12]	-0.25	88.5	10.0	6.33		-0.18	88.0	8.0	6.67	
24.2-0.1			89.0	12.0	[12]						-0.11	80.5	4.3	6.25	
24.4+0.1			112.0	9.0	[12]	-0.21	112.7	6.9	5.73	6.30	-0.16	114.2	6.7	6.47	5.97
24.5+0.2		114.1		9.1	[15]	-0.17	108.5	8.0	6.86		-0.20	107.0	6.0	5.48	
24.7-0.2			112.0	9.0	[12]	-0.15	94.0	6.0	6.33		-0.25	92.0	6.0	4.90	
25.4-0.2	W 42	60.4		5.0	[17]	-0.30	56.0	7.0	4.83		-0.50	56.0	7.0	3.74	
25.7+0.1			52.0	14.0	[12]	-0.12	58.1	6.6	7.42		-0.08	58.7	7.0	9.35	
28.6+0.0			93.0	5.0	a	-0.45	78.5	7.5	4.08		-0.63	78.8	8.5	3.67	
28.8+3.5	W 40	0.7		0.6	[17]	-1.00	7.0	4.0	2.00		-1.70	7.00	3.0	1.33	
30.7-0.4		97.0		8.6	[15]	-0.20	91.0	10.0	7.07		-0.30	91.0	10.0	5.77	
30.7+0.3		92.5		6.6	[13]	-0.35	94.0	10.0	5.35		-0.55	92.0	12.0	4.67	
30.8-0.0	W 43	90.0	90.0	7.0	[12]	-0.45	93.0	8.0	4.22		-0.70	93.0	8.0	3.38	
31.1+0.0	W 43A	88.6		10.6	[18]	-0.19	80.2	11.5	7.78		-0.30	80.5	17.0	7.53	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
34.4+0.0	W 44	53.9		3.8	[19]						-0.32	57.6	5.5	4.15	
37.5-0.1			55.0	6.0	a	-0.35	84.0	4.0	3.38		-0.45	85.0	6.0	3.65	
37.8-0.3			86.5	8.0	[15]	-0.15	90.0	4.0	5.16		-0.30	86.0	6.0	4.47	
37.9-0.4			86.5	8.0	[15]	-0.15	84.0	6.0	6.33	5.75	-0.15	89.0	7.0	6.83	5.65
37.8-0.3		60.2		11.5	[15]	-0.22	60.4	11.0	7.07		-0.33	60.7	11.5	5.90	
37.9-0.4	W 47	60.2		11.5	[15]	-0.20	60.0	8.0	6.33	6.70	-0.25	61.0	12.0	6.93	6.42
41.1-0.3		78.0*		7.5	[16]	-0.19	42.4	5.5	5.38		-0.25	43.2	7.0	5.29	
48.9-0.5	W 51	66.4		6.6	[15]	-0.22	61.0	8.0	6.03		-0.35	58.0	7.0	4.47	
49.0-0.3	W 51 опг.	63.2		6.6	[15]	-0.50	62.1	13.0	5.10		-0.81	62.2	10.5	3.60	
49.3-0.5	W 51 опг.	58.7		6.5	[15]	-0.20	51.0	8.0	6.33		-0.25	51.0	8.0	5.66	
51.1+0.1		55.3		6.3	[15]	-0.20	50.5	7.0	5.92		-0.25	54.0	7.0	5.29	
78.2+1.8	DR 4	5.1		2.1	[19]	-0.32	1.6	4.5	3.75		-0.44	0.9	7.1	4.02	
79.2+0.3	DR 15	-1.6		4.0	[19]	-0.28	1.4	4.1	3.83		-0.40	0.3	5.6	3.74	
80.9-0.2	DR 22	1.7		1.5	[19]	-0.48	6.4	3.7	2.78		-0.80	5.9	3.3	2.03	
80.9+0.4	DR 20	1.3		3.0	[19]	-0.30	4.4	3.5	3.42		-0.64	5.1	2.6	2.02	
81.7+0.6	DR 21 OH	1.7		1.5	[19]	-1.00	-3.6	2.4	1.55		-1.82	-3.2	3.9	1.46	
133.7+1.2	W 3	-42.3		2.3	[13]						-0.63	-41.1	7.0	3.33	
208.8-19.3	OMC-2	-2.0		0.5	[13]						-0.48	5.5	1.7	1.88	
209.0-19.4	Орион А	-2.0		0.5	[13]						-1.02	5.3	1.9	1.37	
265.1+1.5		4.8		1.0	[20]	-1.69	5.4	4.2	1.58		-1.06	5.4	4.2	1.99	
265.1+1.5	RCW 36	4.8		1.0	[20]	-0.65	5.1	4.8	2.72	2.15	-1.20	4.9	3.4	1.68	1.84
267.8-0.9				0.9	[20]	-1.25	1.9	6.3	2.25		-1.95	2.8	5.5	1.68	
267.9-1.1	RCW 38			0.9	[20]	-3.3 ^c	2.0	6.3	1.37	1.72	-5.16	2.6	6.1	1.09	1.34
268.0-1.0				0.9	[20]	-2.61	2.0	6.3	1.55		-3.69	2.3	5.9	1.26	

Таблица 1 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
337.8-0.1		-52.0		14.2	[15]	-0.24	-46.1	23.8	9.56		-0.41	-46.2	26.3	8.01	
338.0-0.4		-40.4		3.5	[15]	-0.50	-35.0	7.0	3.74		-0.80	-34.0	6.0	2.74	
338.9+0.6		-63.0		5.1	[15]						-0.25	-61.7	3.0	3.46	
340.8-1.0		28.0*		2.7	[16]	-0.45	-28.0	5.0	3.34		-0.42	-28.0	5.0	3.45	
343.4-0.0		-30.3		3.3	[15]	-0.15	-25.6	4.0	5.16		-0.25	-26.6	4.0	4.00	
345.4-0.9	RCW 117	-21.1		2.6	[15]	-0.37	-21.7	4.1	3.33		-0.56	-21.4	5.5	3.13	
351.4+0.7	NGC 6334	-3.8		0.8	[15]	-2.35	-3.0	4.0	1.31		-4.20	-3.0	5.0	1.09	
351.6+0.2		-42.5		6.2	[15]	-0.40	-40.5	8.0	4.47		-0.40	-42.2	7.0	4.18	
351.7-1.2		-12.2		2.6	[15]	-0.59	-12.5	5.9	3.16		-0.66	-12.4	6.1	3.04	
353.1+0.6	W 22	-4.0		1.1	[15]	-1.20	-3.0	7.0	2.42	2.67	-1.25	-4.0	8.0	2.53	2.70
353.2+0.9	NGC 6357	-4.0		1.1	[15]	-0.70	-5.3	6.0	2.93		-0.85	-5.3	7.0	2.87	
353.5-0.0		-51.0		7.1	[15]	-0.29	-42.7	12.0	6.43		-0.39	-43.4	11.3	5.38	

* Скорость нейтрального водорода HI.

а) Расстояние до облака OH принято по кривой вращения. Поскольку область радиоизлучения имеет большую лучевую скорость, чем поглощающее облако, то принято близнее расстояние.

комплекса (11 и 16 столбцы). Зависимость δ для облаков и облачных комплексов от R —гелиоцентрического расстояния поглощающих облаков для линий поглощения на двух частотах 1665 и 1667 МГц приведена на рис. 4

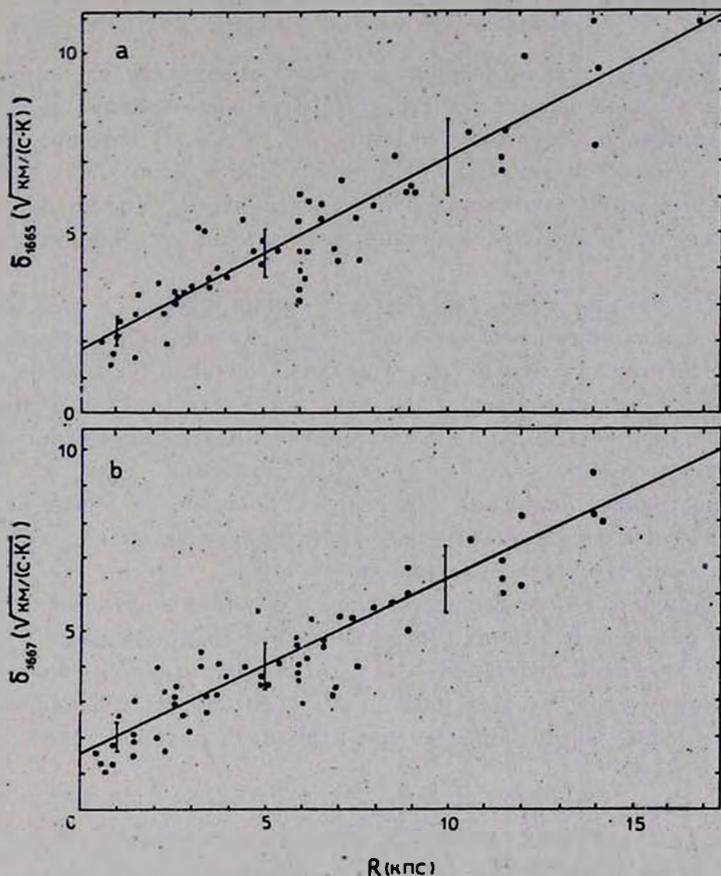


Рис. 4. Зависимость параметра линии поглощения $\text{OH } \delta = \sqrt{\Delta V / T_A}$ от гелиоцентрического расстояния облака R для НРАО радиотелескопа (ширина диаграммы направленности $19'$); а) частота 1665 МГц; б) частота 1667 МГц. Вертикальными отрезками указаны экспериментальные ошибки значений δ для расстояний 1, 5 и 10 пс.

Уравнения линейной регрессии, вычисленные методом наименьших квадратов, для указанных частот имеют вид:

$$\delta_{1665} = 0.53R + 1.77 (\pm 0.07 \pm 0.48),$$

$$\delta_{1667} = 0.48R + 1.58 (\pm 0.06 \pm 0.41).$$

Значения δ выражены в $\sqrt{\text{км}/(\text{сК})}$, R — в кпс. В скобках приведены 95% доверительные интервалы для коэффициентов уравнений регрессии. Эмпирические коэффициенты корреляции равны:

$$r_{1665} = 0.894 \text{ и } r_{1667} = 0.896.$$

3. Рассмотрим, с какой точностью можно определять расстояния до межзвездных облаков по зависимости $\delta(R)$. Основное влияние на точность оказывают ошибки определения величин ΔV и T_A . В каталоге Тернера [10] для них имеем соответственно 0.5 км/с и 0.18 К. При таких значениях ошибка в определении расстояния будет составлять 0.5 кпс на расстоянии 1 кпс и 1.5 кпс на 10 кпс. Эти величины нанесены на рис. 4 вертикальными отрезками.

Обсуждая разброс точек относительно линии $\delta(R)$, следует подчеркнуть, что он может быть обусловлен не только случайными ошибками, но и различиями физических параметров отдельных облаков. Одной из причин могут быть пекулярные движения облаков. Тогда для облаков, которые отклоняются от линии $\delta(R)$ на 2—3 кпс, получим пекулярные скорости 20—30 км/с. Действительно, согласно [5—7], у заметной доли HI-облаков должны существовать движения с такими скоростями, отличные от круговых. Итак, различия в кинематических характеристиках облаков могут увеличивать разброс точек относительно линии $\delta(R)$.

Вторая причина может быть связана с различиями оптических толщин τ отдельных облаков. В линиях OH оптические толщины малы, поэтому T_A является линейной функцией τ . По имеющимся данным, большинство облаков имеют τ в пределах от 0.01 до 0.08 [20]. Отсюда заключаем, что различие в τ также вносит определенный вклад в разброс точек относительно линии $\delta(R)$.

Основываясь на эмпирических зависимостях $\delta(R)$, получаем точность определения расстояний не ниже 1.5 кпс. Использование зависимостей $\delta(R)$ на двух частотах, 1665 и 1667 МГц, повышает эту точность.

4. Зависимость $\delta(R)$ получена на основании наблюдений линии поглощения OH, выполненных на радиотелескопе NRAO (США), ширина диаграммы направленности которого по половинной мощности $\Delta\theta_1 = 19'$ [10]. Для выяснения возможной зависимости $\delta(R)$ от $\Delta\theta$ исследован однородный ряд наблюдений линий поглощения OH на частоте 1667 МГц, полученный на радиотелескопе в Парксе (Австралия), для которого $\Delta\theta_2 = 12'$ [21]. Были отобраны линии поглощения в направлении 30 источников радиоизлучения с хорошо определенными расстояниями. Список источников и характеристики линий поглощения OH приведены в табл. 2.

Таблица 2

l''	b''	Источник	$V_{H\text{ К}9\alpha}$ км/с	R кпс	Литера- тура	T_A К	V_{OH} км/с	ΔV км/с	δ $\sqrt{\text{км (с К)}}$
274.0-1.1		RCW 42	39.0	6.5	[16]	-1.1	37.0	6.0	2.34
298.0-0.4			24.2	11.7	[13]	-0.7	26.0	8.0	2.38
305.2 0.0			-40.0	5.8	[15]	-1.2	-46.2	9.0	2.74
305.2 0.0			-38.0	5.8	[15]	-1.0	-33.0	7.0	2.65
311.9+0.1			-47.3	9.7	[15]	-1.4	-47.0	13.0	3.05
316.8-0.0			-36.0	2.5	[15]	-3.4	-39.0	10.0	1.72
317.0+0.3			-46.8	11.9	[13]	-0.8	-48.0	8.0	3.16
322.2 +0.6		RCW 92	-51.8	3.5	[13]	-1.3	-55.0	4.0	1.75
326.7 0.6			-39.0	2.5	[13]	-1.8	-21.0	2.0	1.05
326.7+0.6			-43.0	3.1	[13]	-1.5	-46.0	8.0	2.31
327.3-0.5		RCW 97	-48.8	2.6	[13]	-3.7	-50.0	4.0	1.04
332.1-0.4			-47.0	3.6	[13]	-1.4	-44.0	4.0	1.69
332.1-0.4			-55.0	4.1	[15]	-0.8	-57.0	6.0	2.74
332.4-0.4		RCW 103	-44.0	3.3	[16]	-0.7	-43.0	4.0	2.39
332.7-0.6			-47.0	4.2	[13]	-1.1	-41.0	11.0	3.16
335.8-0.1			-52.1	13.5	a	-0.75	-44.0	14.0	4.32
336.0 0.1			-52.1	13.5	a	-0.6	-50.0	18.0	5.48
336.8 +0.0			-53.5	6.7	[13]	-0.5	-50.0	6.0	3.46
336.8 +0.0			-75.3	12.6	[15]	-0.6	-76.0	10.0	4.08
337.1-0.2			-72.7	6.7	[13]	-0.8	-76.0	6.0	2.74
337.9-0.5			-40.4	3.7	[13]	-1.7	-36.0	6.0	1.88
338.0-0.1			-52.5	14.1	[13]	-1.2	-42.0	24.0	4.47
338.9 +0.6			-63.0	6.0	[13]	-0.9	-63.0	7.0	2.79
340.3-0.2			-43.3	14.4	[13]	-1.0	-40.0	24.0	4.90
340.8-1.0		RCW 110	-28.0	2.7	[16]	-0.9	-28.0	6.0	2.58
345.4+1.4			-14.6	-2.5	[16]	-1.5	-12.0	8.0	2.31
345.4-0.9		RCW 117	-28.0	3.2	[16]	-1.5	-22.0	4.0	1.63
348.5+1.0			-62.0	10.2	[16]	-0.7	-9.0	7.0	3.16
348.7-1.0		RCW 122	-18.9	3.5	[13]	-1.7	-13.0	4.0	1.53
351.7-1.2			-12.2	2.6	[15]	-1.5	-12.0	8.0	2.31

а) Расстояние до облака принято дальше по кривой вращения.

На основании этих данных была получена следующая линейная зависимость (см. рис. 5):

$$\delta = 0.22 R + 1.30 (\pm 0.05 \pm 0.36).$$

Эмпирический коэффициент корреляции равен 0.88.

Как видно, большинство точек хорошо удовлетворяет линейной зависимости параметра δ от расстояния R . Первоначально для облаков, наблюдаемых в направлении $335.8-0.1$ и $336.0+0.1$, на основании их лучевой скорости были приняты расстояния 4.6 кпс [13]. Объекты с такой лучевой скоростью могут также находиться на дальнем расстоянии, равном 13.5 кпс. Поскольку по зависимости $\delta(R)$ им лучше соответствуют дальние расстояния, они и были использованы в работе.

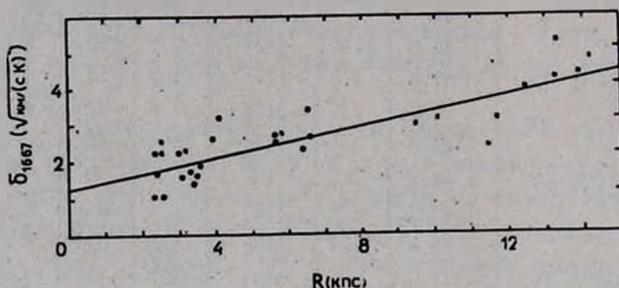


Рис. 5. Зависимость параметра линии поглощения ОН $\delta = \sqrt{\Delta V / T_A}$ от гелиоцентрического расстояния облака R для Паркского радиотелескопа (ширина диаграммы направленности $12'$). Частота 1667 МГц.

Для источника радиоизлучения $316.8-0.0$ первоначально принималось дальнейшее кинематическое расстояние 12.1 кпс. В недавней работе, посвященной исследованию этой области, Шавер и др. [22] после обстоятельного исследования получили, что этот источник должен находиться на ближнем кинематическом расстоянии—2.9 кпс. Применяя зависимость $\delta(R)$ для линии поглощения ОН молекулярного облака, связанного с указанным источником радиоизлучения, получаем расстояние 2 кпс, что также соответствует ближнему кинематическому расстоянию. Этот пример показывает эффективность использования зависимости $\delta(R)$ для определения расстояний до межзвездных облаков.

Таким образом, из сравнения рис. 4 и 5 видно, что зависимость $\delta(R)$ будет обеспечивать хорошую точность определения расстояний при наблюдениях на радиотелескопах с широкими диаграммами направленности.

5. Рассмотрим, чем определяется обнаруженная зависимость параметра линии поглощения $\delta = \sqrt{\Delta V / T_A}$ от расстояния до поглощающего облака.

Подчеркнем, что эта зависимость не может быть обусловлена дифференциальным галактическим вращением облаков. Основываясь на изменении кривой вращения с расстоянием [2], находим, что для облачных ком-

плексов с размерами 50—80 пс уширение линии за счет дифференциального галактического вращения не превосходит 1—2 км/с,

Молекулярным облакам или облачным комплексам присуща турбулентная структура [23, 24]. При наблюдениях в молекулярных линиях она проявляется в виде отдельных комков, находящихся в независимых случайных движениях. Характерные параметры этих комков, в которых формируются линии поглощения ОН, можно оценить, считая, что на близких расстояниях ширина линии ΔV определяется структурой одного комка. Из табл. 1 и 2 видно, что наименьшая величина ΔV близка к 2 км/с. Используя статистические зависимости между дисперсией скорости и параметрами облаков, полученные в работах [23, 24], находим, что значению 2 км/с соответствуют комки с размерами 5—7 пс и массами $(2-5) \cdot 10^3 M_{\odot}$. Наличие в молекулярных облаках структурных элементов с подобными размерами отмечали Цукерман и Эванс II [25].

Итак, наблюдаемые линии поглощения ОН формируются в облачных комплексах, представляющих собой конгломерат крупных структурных элементов. Образование линии ОН определяется только частью облачного комплекса, попадающей в телесный угол источника подсветки, который обычно меньше всей диаграммы направленности антенны. Очевидно, на фоне источника непрерывного спектра в картинной плоскости будет находиться небольшое количество комков. При этом каждый комок обладает собственной пространственной скоростью в диапазоне 5—10 км/с. Поэтому для далеких протяженных комплексов, в которых в формирование линии поглощения участвует много комков, ширина линии ОН может достигать ~ 20 км/с.

Пусть Ω_A — телесный угол диаграммы направленности антенны, Ω_S — телесный угол источника подсветки, а Ω_c — телесный угол, под которым наблюдается один комок облачного комплекса. Если T_S — яркостная температура источника подсветки и оптическая толщина τ_c комка в линии ОН мала, тогда для антенной температуры T_A в центре линии можно написать:

$$T_A = \frac{T_S \Omega_c \tau_c}{\Omega_A} \approx \frac{\Omega_c}{\Omega_A} T_S \tau_c.$$

Суммирование ведется по всем комкам облачного комплекса, которые участвуют в формировании линии поглощения. Параметр ξ учитывает вклад всех комков в оптическую толщину в центре линии. Очевидно, $\xi \geq 1$.

Согласно [23, 24], если L — характерный размер облака, то $\Delta V = aL^{\beta}$, где $\beta \approx 0.4-0.5$ и a — некоторая постоянная. Пусть $S = r^2 \Omega_S$ — площадь наблюдаемого облачного комплекса, находящегося на расстоя-

нии r , тогда $L \approx \sqrt{S}$ и, следовательно, $\Delta V \sim r^\beta \Omega_S^{3/2}$. Для приведенных в табл. 1 облаков имеем $\Delta V \sim r^{0.47}$, что соответствует полученной в [23, 24] степенной зависимости ΔV от размера облака.

Используя выражение для ΔV и T_A , получаем

$$\delta(r) = \sqrt{\frac{ar^\beta \Omega_S^{3/2} \Omega_A}{T_S \Omega_c \xi \tau_c}} = \sqrt{\frac{a \Omega_S^{3/2} \Omega_A}{T_S \xi \tau_c}} r^{1+\beta/2}.$$

Здесь принято, что облако состоит из комков одинаковых размеров. В этом случае площадь комка $P = r^2 \Omega_c$.

Итак, в хорошем согласии с эмпирическими результатами полученная формула дает практически линейную зависимость параметра δ от расстояния. Из этой формулы также видно, что разброс точек относительно линейной функции $\delta(r)$ главным образом будет определяться изменениями значения T_S при переходе от источника к источнику, а также изменениями величины ξ , зависящей от статистики перекрытия контуров линии отдельных комков. Можно полагать, что физические параметры отдельных комков близки между собой в разных облачных комплексах, поэтому возможные изменения P и τ_c будут вносить меньший вклад в разброс точек на рис. 4 и 5.

Из формулы для $\delta(r)$ следует, что при переходе от одной антенны к другой значения δ должны изменяться приблизительно в пропорции

$$\frac{\delta_1}{\delta_2} \approx \sqrt{\frac{\Omega_{A1}}{\Omega_{A2}}} = \frac{\Delta \theta_1}{\Delta \theta_2}.$$

Из полученных выше эмпирических зависимостей в диапазоне расстояний 3—10 кпс получаем $\delta_1/\delta_2 \approx 1.7$ —2.0, что довольно хорошо согласуется с величиной $\Delta \theta_1/\Delta \theta_2 \approx 1.6$. Таким образом, полученное выражение для $\delta(r)$ также позволяет оценивать зависимость от ширины диаграммы направленности радиотелескопа.

По мере перехода к более высокому угловому разрешению параметры линии поглощения все в большей степени определяются мелкомасштабной структурой облака, параметры которой не зависят от расстояния до облачного комплекса. Поэтому с уменьшением ширины диаграммы направленности антенны падает эффективность определения расстояний до облаков на основании зависимости $\delta(R)$.

6. Рассмотрим несколько примеров использования зависимости $\delta(R)$ для определения расстояний и кинематических характеристик облачных комплексов, наблюдаемых в линиях поглощения ОН.

В направлении 29.9—0.0 наблюдается облачный комплекс, дающий линии поглощения ОН на лучевых скоростях 50 км/с и 68 км/с [10]. Сред-

ние значения величин δ этих линий на частотах 1665 и 1667 МГц равны, соответственно, 3,8 и 3,4. По зависимости $\delta(R)$ им соответствуют расстояния 3,8 и 3,4 кпс. С другой стороны, в указанном направлении наблюдается мазерный источник с симметричными пиками на лучевых скоростях 36 км/с и 67,5 км/с. Можно считать, что мазерное излучение возникает в расширяющейся оболочке около источника, обладающего лучевой скоростью 52 км/с [26]. Этой лучевой скорости соответствует кинематическое расстояние, равное 3,8 кпс. Таким образом, если считать, что данный мазерный источник связан с облачным комплексом, наблюдаемым в линиях поглощения ОН, то на основании зависимости $\delta(R)$ получаем для него расстояние, хорошо согласующееся с кинематическим.

Рассмотрим источник в направлении 337.3—0.1. Здесь также наблюдаются симметричные пики мазерного излучения на лучевых скоростях — 12 км/с и — 44 км/с, соответствующие центральной лучевой скорости — 28 км/с [26]. На частоте 1667 МГц в этом направлении наблюдаются линии поглощения ОН на лучевых скоростях — 34 км/с и — 39 км/с, сливающиеся в единую полосу на частоте 1665 МГц [10]. Для линий, наблюдаемых на частоте 1667 МГц, имеем δ , равные 2,6 и 2,5, что соответствует расстоянию 2,2 кпс. На таком расстоянии лучевая скорость галактического кругового движения должна составлять — 25 км/с, что хорошо согласуется с величиной лучевой скорости, полученной для мазерного источника. Итак, как и в предыдущем случае, использование зависимости $\delta(R)$ дает кинематические характеристики облаков, которые согласуются с моделями мазерных источников.

В направлении 20.2+0.0÷20.4+0.1 наблюдаются линии поглощения ОН на лучевой скорости 7 км/с [10]. Среднее расстояние до облаков ОН, создающих эти линии, определенное по четырем значениям δ , равно 2,7 кпс. На этом расстоянии скорость кругового движения равна 25 км/с. Поэтому можно полагать, что данный облачный комплекс движется со скоростью, отличной от кругового движения, — 18 км/с. В этом же направлении наблюдается мазерный источник с симметричными пиками на лучевых скоростях 11 км/с и 42 км/с [10], что дает лучевую скорость движения самого источника 26,5 км/с. Приходим к заключению, что мазерный источник и облака ОН с линиями поглощения на 7 км/с находятся от нас на одинаковом расстоянии, однако облачный комплекс движется относительно мазерного источника со скоростью 18 км/с. Интересно, что в обзоре [10] на лучевой скорости 26 км/с заметна слабая линия поглощения ОН, которая, возможно, соответствует облаку, непосредственно связанному с мазерным источником.

Приведенные примеры показывают, что рассмотренная зависимость $\delta(R)$ дает эффективный способ определения расстояний до облаков с линиями поглощения ОН. При этом, по сравнению с методом определения

12—833

расстояний по кривой вращения Галактики, отсутствуют ошибки, вносимые пекулярными движениями облаков, исключается возможная неоднозначность в определении расстояний, а также использование $\delta(R)$ позволяет непосредственно определять расстояния в направлениях галактических долгот 0° и 180° .

Главная астрономическая обсерватория
АН УССР

DETERMINATION OF DISTANCES TO INTERSTELLAR CLOUDS FROM OH ABSORPTION FEATURES

I. G. KOLESNIK, L. V. YUREVICH

The linewidths ΔV and depths T_A of OH absorption features are shown to yield a value $\delta = \sqrt{\Delta V/T_A}$ which linearly increases with the distance R to the absorbing cloud. A slope of $\delta(R)$ relation depends on the antenna beam size. An interpretation of the relation obtained is proposed. Some examples for the determination of the distances and kinematic properties of interstellar clouds are given. As compared with the rotation model distances, $\delta(R)$ -relation enables unambiguous and free of peculiar motions distances to be determined.

ЛИТЕРАТУРА

1. M. Schmidt, in "Stars and Stellar Systems", V, ed. A. Blaauw and M. Schmidt, The University of Chicago Press, Chicago, 1965, p. 513.
2. W. B. Burton, *Astron. Astrophys.*, 10, 76, 1971.
3. W. B. Burton, M. A. Gordon, *Astron. Astrophys.*, 63, 7, 1978.
4. F. J. Lockman, A. J., 82, 408, 1977.
5. E. W. Greisen, F. J. Lockman, *Ap. J.*, 228, 740, 1979.
6. P. A. Shaver, V. Radhakrishnan, K. P. Anantharamaiah, D. S. Retallack, W. Wamsteker, A. C. Danks, *Astron. Astrophys.*, 106, 105, 1982.
7. K. P. Anantharamaiah, V. Radhakrishnan, P. A. Shaver, Preprint. ESO No. 176, 1981.
8. J. H. Oort, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 15, 295, 1977.
9. K. Rohlf, *Astron. Astrophys.*, 102, 91, 1981.
10. B. E. Turner, *Astron. Astrophys.*, Suppl. ser., 37, No. 1, 1, 1979.
11. B. J. Robinson, W. M. Goss, R. N. Manchester, *Austr. J. Phys.*, 23, 363, 1970.
12. D. Downes, T. L. Wilson, J. Bieging, J. Wink, *Astron. Astrophys.*, Suppl. ser., 40, 379, 1980.
13. Y. M. Georgelin, Y. P. Georgelin, *Astron. Astrophys.*, 49, 57, 1976.
14. J. Schraml, P. G. Mezger, *Astron. Astrophys.*, 196, 269, 1969.
15. F. J. Lockman, *Ap. J.*, 232, 761, 1979.
16. J. L. Caswell, J. D. Murray, R. S. Roger, D. J. Cole, D. J. Cooke, *Astron. Astrophys.*, 45, 239, 1975.

17. *V. Radhakrishnan, W. M. Goss, J. D. Murray, J. D. Brooks, Ap. J., Suppl. ser., 24, 49, 1972.*
18. *В. И. Арускин, И. И. Берулис, Р. Л. Сороченко, Астрон. ж., 46, 278, 1969.*
19. *E. C. Reifstein, T. L. Wilson, B. F. Burke, Astron. Astrophys., 4, 357, 1970.*
20. *R. N. Manchester, B. J. Robinson, W. M. Goss, Austr. J. Phys., 23, 751, 1979.*
21. *J. L. Caswell, B. J. Robinson, Austr. J. Phys., 27, 597, 1974.*
22. *P. A. Shaver, D. S. Retallack, W. Wamsteker, A. C. Danks, Astron. Astrophys., 102, 225, 1981.*
23. *R. B. Larson, M. N. RAS, 194, 809, 1981.*
24. *C. M. Leung, M. L. Kutner, Ap. J., 262, 583, 1982.*
25. *B. Zuckerman, N. J. Evans II, Ap. J., 192, L149, 1974.*
26. *J. L. Caswell, R. F. Hanes, M. N. RAS, 173, 649, 1975.*