

Г. С. Бадалян

О генезисе межзвездного нейтрального водорода
и галактических цефеид

(Представлено В. А. Амбарцумяном 15. XI. 1957)

В нашей предыдущей работе ⁽¹⁾ была исследована связь между пространственным распределением межзвездного нейтрального водорода и галактическими цефеидами. Было показано, что на диаграмме радиальная скорость, галактическая долгота, галактические цефеиды распределены, главным образом, в местах значительной плотности нейтрального водорода. На основании полученных результатов мы пришли к выводу о возможности генетической связи между нейтральным водородом и галактическими цефеидами.

Аналогичный результат получается для распределения нейтрального водорода и цефеид в Магеллановых Облаках. В настоящей работе делается попытка дополнить и несколько уточнить результаты первой работы. Для уточнения результатов предыдущей работы мы ввели вместо наблюдаемых интенсивностей нейтрального водорода интенсивности, исправленные за эффект дифференциального вращения Галактики. С другой стороны, нами приводится сопоставление распределений нейтрального водорода и цефеид, в зависимости от галактической широты и лучевых скоростей.

§ 1. Поправка величины интенсивностей нейтрального водорода за эффект дифференциального вращения Галактики. В работе ⁽¹⁾, при определении плотности атомов нейтрального водорода в некоторой точке Галактики, которая имеет по отношению к около-солнечному центроиду скоростей некоторую определенную лучевую скорость, мы принимали, что эта плотность просто пропорциональна интенсивности излучения в соответствующей точке 21-сантиметровой линии.

Однако при сравнении разных направлений между собой следует учесть, что производная лучевой скорости по расстоянию для разных направлений различна. Поэтому плотность водорода ρ при том же предположении об отсутствии самообращения можно считать пропорциональной интенсивности I в соответствующей точке контура.

помноженной на $\sin 2(l - l_0)$, поскольку производная лучевой скорости по расстоянию в первом приближении пропорциональна $\sin 2(l - l_0)$:

$$\rho = l \sin 2(l - l_0). \quad (1)$$

Эта формула может быть применена лишь к не очень далеким частям Галактики.

Кроме того, необходимо отметить, что уравнение (1) не применимо в случае, когда $l - l_0 = 0^\circ$ и $l - l_0 = 90^\circ$. Дело в том, что в этих случаях определенное значение может иметь дисперсия скоростей межзвездных облаков. Ее роль в формировании профиля линии в этих случаях гораздо больше роли эффекта вращения Галактики.

Для количественного сравнения распределения нейтрального водорода с распределениями галактических цефеид и звезд других типов, мы вычисляли, используя данные первой таблицы работы Оорта, Ван-де Хюлста и Мюллера (²), средневзвешенные значения плотности по следующим формулам:

Для нейтрального водорода;

$$\bar{\rho}_n = \frac{\int I^2 \sin 2(l - l_0) ds}{\int I ds} = \frac{\Sigma I^2 \sin 2(l - l_0)}{\Sigma I}, \quad (2)$$

а для галактических цефеид и звезд других типов среднее взвешенное значение околосредней плотности межзвездного водорода

$$\bar{\rho}_{\text{сер}} = \frac{\Sigma I \sin 2(l - l_0)}{n}. \quad (3)$$

Полученные результаты среднего значения плотности межзвездного нейтрального водорода приведены в табл. 1.

Таблица 1

Название объектов	$\bar{\rho}$	\bar{I}	n
Нейтральный водород	34.6	54.1	1369
Галактические цефеиды	38.0	60.3	146
Звезды типа сG	36.1	56.0	70
Звезды типа O	32.9	54.8	103
Долгопериодические переменные	26.4	40.0	119
Короткопериодические цефеиды	23.4	30.9	16

Как видно из таблицы, после учета эффекта дифференциального вращения средневзвешенные плотности нейтрального водорода уменьшились примерно в полтора раза, однако относительные их значения дают почти такую же картину, какая получалась в первой работе. Полученные результаты вновь подтверждают, что действительно галактические цефеиды распределены в уплотненных местах межзвездного нейтрального водорода.

Мы вычисляли эти средние значения плотностей межзвездного газа для каждого пятиградусного интервала галактических долгот, $l = 220^\circ$ до $l = 320^\circ$ по данным работы Оорта и других. Для тех же интервалов нами были вычислены средние плотности для мест, где находятся галактические цефеиды. На рис. 1 дано распределение этих усредненных плотностей нейтрального водорода, в зависимости от галактических долгот. Сплошная кривая соответствует нейтральному водороду, а пунктирная — галактическим цефеидам. Из рисунка видно, что амплитуда средней плотности $\bar{\rho}$ для цефеид гораздо больше, чем для самого водорода, и максимумы для цефеид гораздо более резки.

Это сопоставление является еще одним аргументом в пользу того, что цефеиды расположены в плотных областях межзвездного нейтрального водорода.

§ 2. *О связи между распределениями межзвездного нейтрального водорода и цефеид по галактической широте.* Как в нашей первой работе, так и в первом параграфе настоящей статьи речь шла о сравнении распределения плотностей атомов нейтрального водорода и галактических цефеид, в зависимости от галактических долгот. Целесообразно произвести аналогичное сравнение распределений нейтрального водорода и цефеид в зависимости от Галактических широт.

Для этой цели мы использовали результаты Хелфера и Тейтела⁽³⁾ относительно монохроматического радиоизлучения атомов нейтрального водорода по галактическим широтам для $l = 50^\circ$ и $l = 90^\circ$.

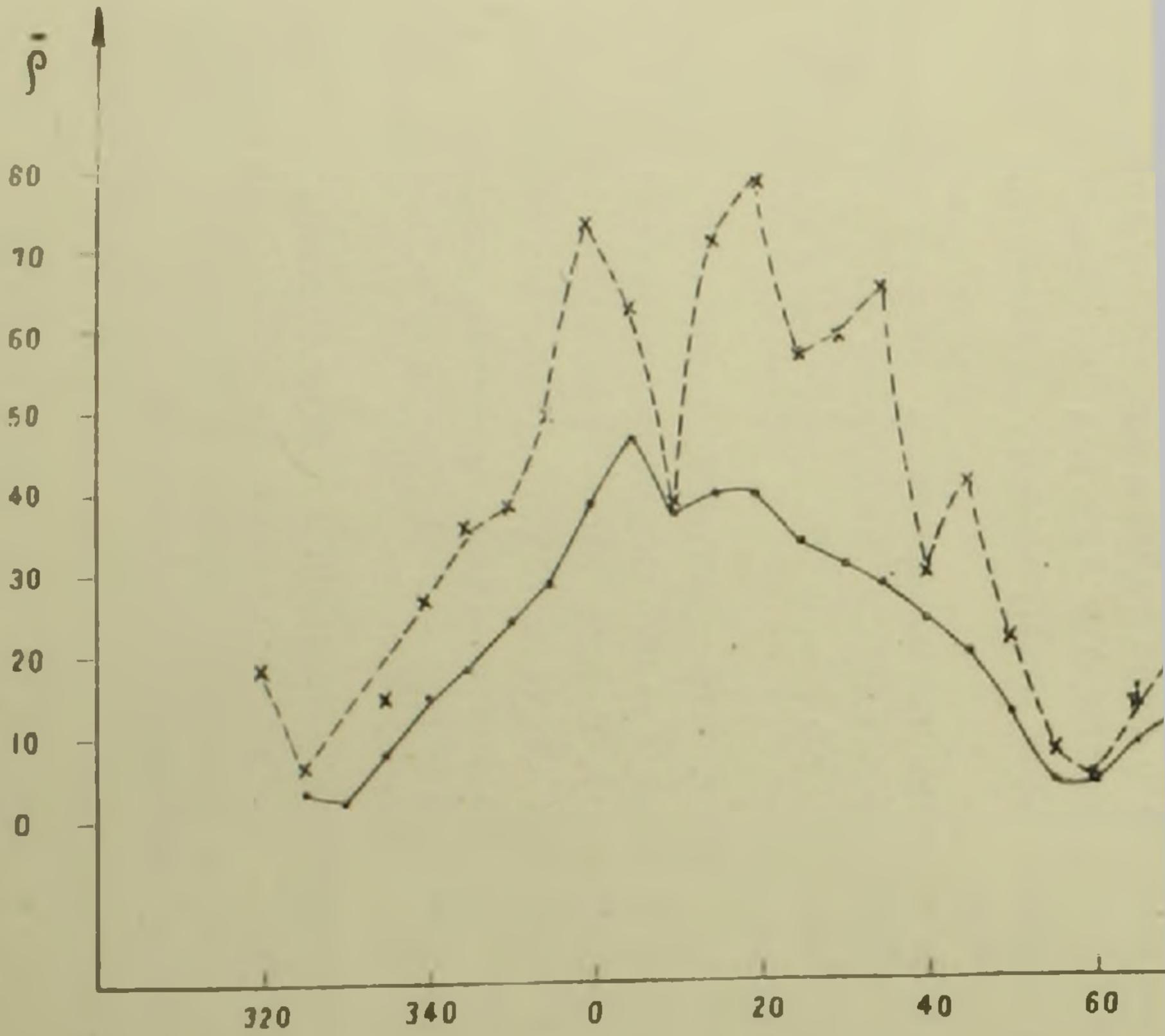
Указанные авторы посредством наблюдения радиоизлучения нейтрального водорода определили распределение его плотностей в зависимости от радиальных скоростей и от галактических широт, представив свои результаты в виде таблиц температур антенны.

Из табл. 1 и 2 Хелфера и Тейтела мы нашли соответствующую температуру антенны для нейтрального водорода, находящегося в окрестности цефеид.

Плотность нейтрального водорода в низких широтах Галактики сравнительно велика, особенно в интервале $b = \pm 5^\circ$, далее начинает сильно падать, примерно до $b = \pm 10^\circ$, после чего изменения становятся более медленными.

Интересен тот факт, что распределение нейтрального водорода в направлениях $l = 50^\circ$ и $l = 90^\circ$ почти симметрично по отношению к галактическому экватору, с той лишь разницей, что в направлении $l = 90^\circ$ низким широтам соответствует меньшая температура антенны, чем при $l = 50^\circ$. Это обстоятельство, вероятно, связано с тем, что по направлению $l = 50^\circ$ концентрация водородных облаков, по-видимому, велика.

Поскольку цефеиды в основном расположены в низких широтах Галактики (табл. 2), представляет значительный интерес сравнение распределений межзвездного газа и цефеид по галактическим широтам. Были использованы цефеиды, имеющие известные радиаль-



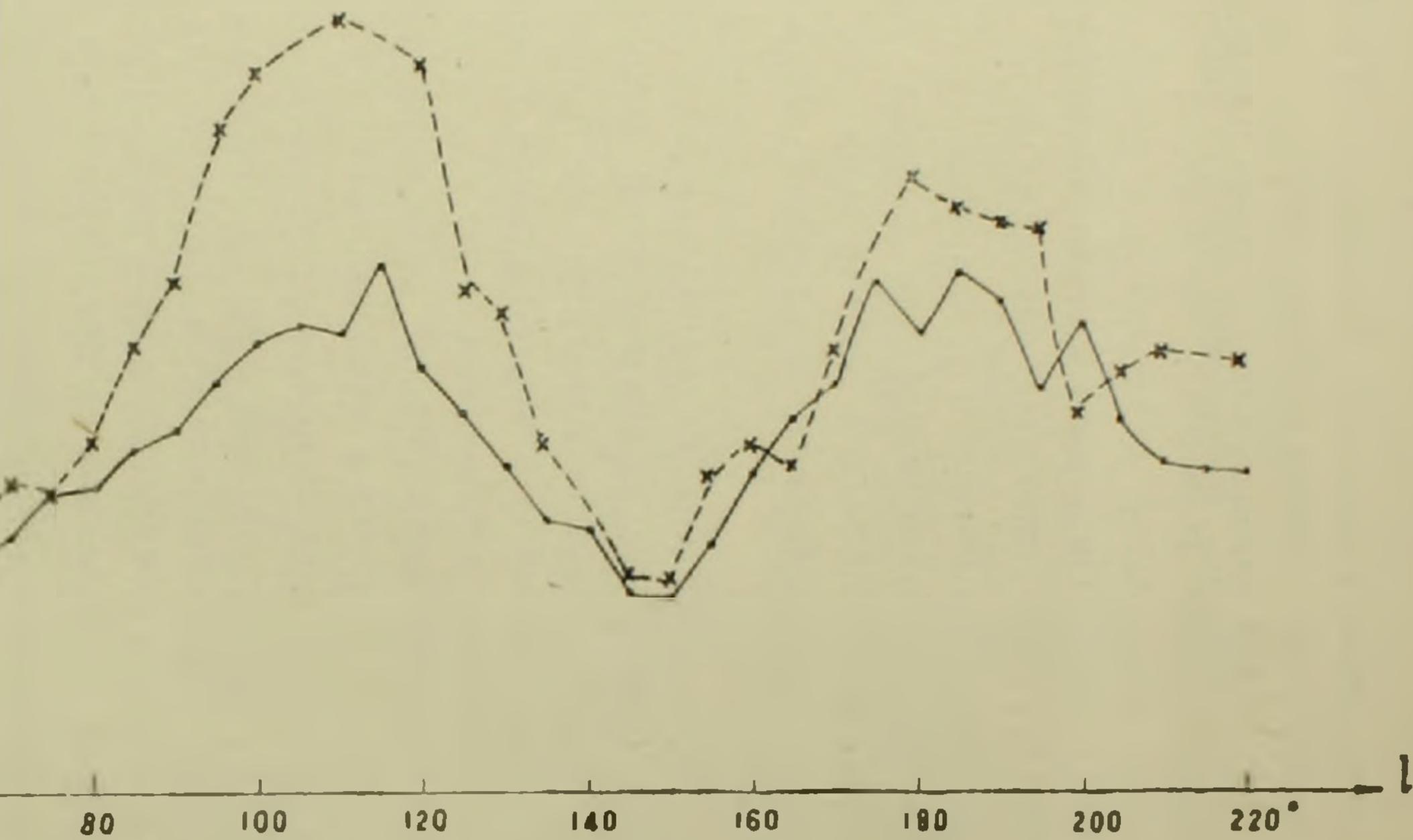


Рис 1

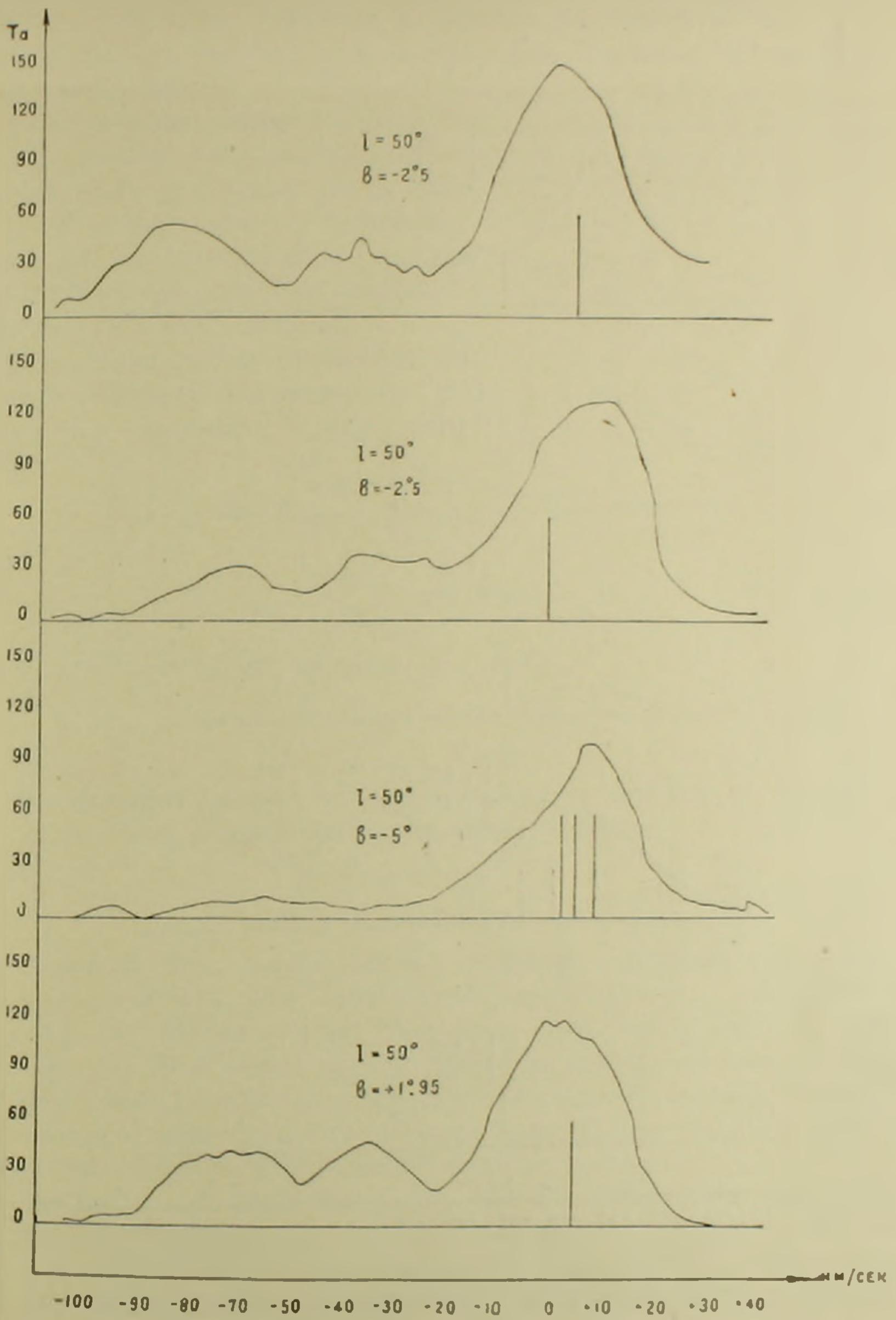
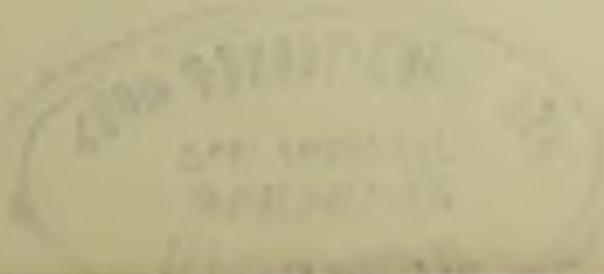


Рис. 2.



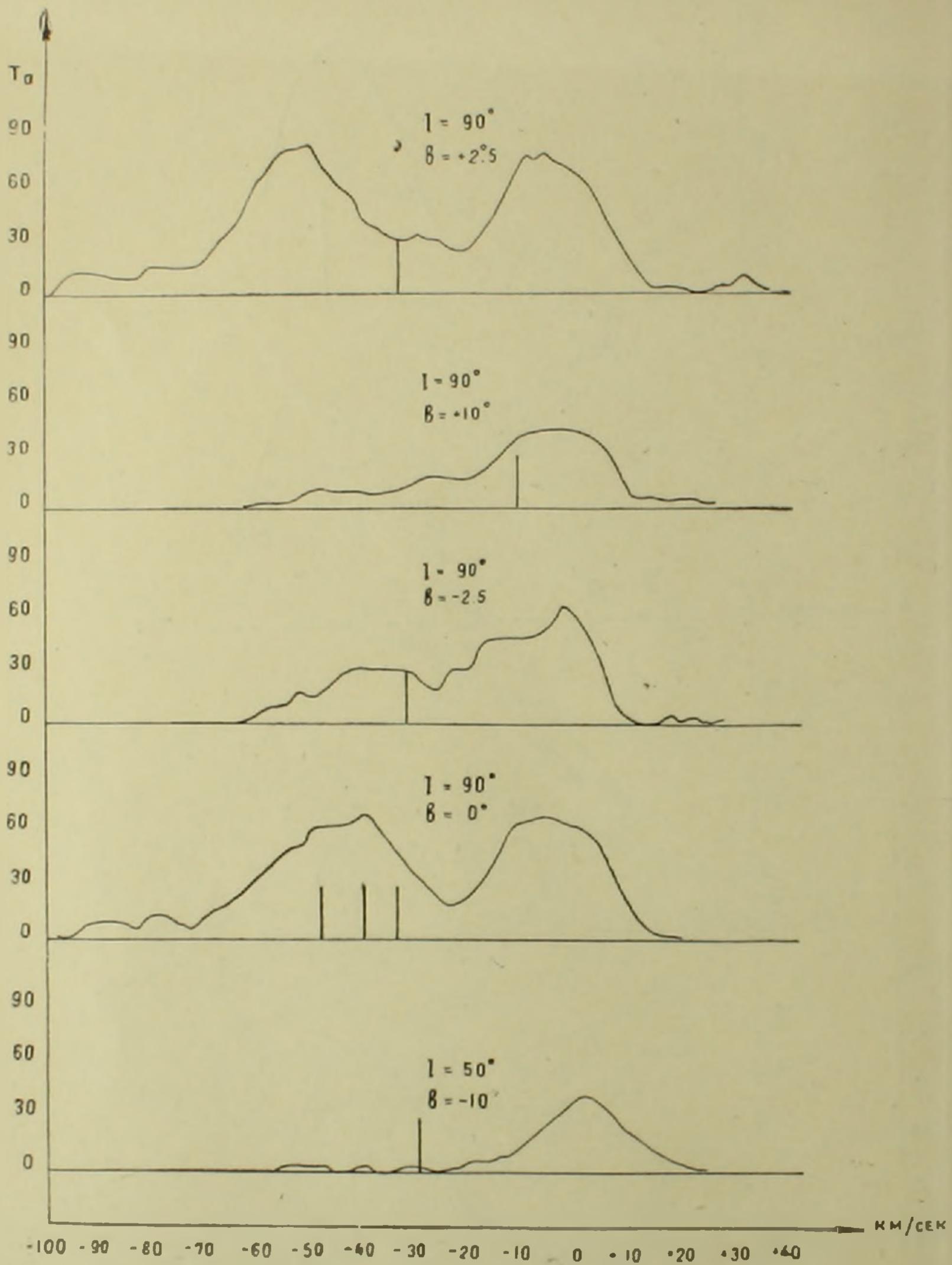


Рис. 3.

ные скорости и находящиеся на галактической долготе в интервале от 47° до 53° и от 87° до 93° . Из них в каждом направлении оказалось шесть и пять цефеид соответственно. Для каждой из этих цефеид, на основании их галактических широт и радиальных скоростей, по данным табл. 1 и 2 Хелфера и Тейтела, мы нашли соответствующую температуру антенны для нейтрального водорода, находящегося в окрестности цефеид.

Мы попытались далее сделать (таким же методом, как в первой работе) количественное сравнение между средней температурой антенны нейтрального водорода и соответствующей средней температурой антенны для водорода в окрестностях данных цефеид.

Для средних значений температуры антенны нейтрального водорода T_n и цефеид $T_{\text{сер}}$ в области $l = 50^\circ$ получается:

$$\bar{T}_n = \frac{\sum T_n^2}{\sum T_n} = 60 \cdot 16, \quad (4)$$

$$\bar{T}_{\text{сер}} = \frac{\sum T_{\text{сер}}}{n} = 85 \cdot 25, \quad (5)$$

а в области $l = 90^\circ$ получается:

$$\bar{T}_n = 39 \cdot 06,$$

$$\bar{T}_{\text{сер}} = 39 \cdot 00.$$

Взвешенные средние значения температур антенны для нейтрального водорода и цефеид обоих направлений равны:

$$\bar{T}_n = 51 \cdot 69,$$

$$\bar{T}_{\text{сер}} = 62 \cdot 12.$$

Таким образом, количественное сравнение, основанное на данных, полученных посредством наблюдения радиоизлучения нейтрального водорода из равных широт Галактики, дает такой же результат, какой получился в нашей первой работе из данных по галактическим долготам. Этот результат заключается в том, что средняя плотность нейтрального водорода в окрестностях цефеид превосходит плотность нейтрального водорода, усредненную по его атомам.

На рис. 2 и 3, представляющих контуры 21-сантиметровой линии нейтрального водорода для $l = 50^\circ$ и $l = 90^\circ$, по данным Хелфера и Тейтела, мы нанесли в соответствии с их радиальными скоростями усредненные значения из вычислений Джоя и Паренаго, исправленные за движение Солнца.

Галактические координаты и исправленные радиальные скорости этих цефеид приведены в табл. 3.

Таблица 2

Распределение известных цефеид по поясам галактической широты

b	n
$0^\circ - \pm 5^\circ$	363
$\pm 5 - \pm 10$	87
$\pm 10 - \pm 15$	38
$\pm 15 - \pm 20$	26
$\pm 20 - \pm 25$	5
$\pm 25 - \pm 30$	9

Цефеиды				Цефеиды			
VX Cyg	50.0	-4.2	+1.3	TU Cas	86.9	-11.2	-11.3
VY Cyg	50.7	-5.3	+8.5	AP Cas	88.6	+0.4	-33.5
MZ Cyg	51.9	-9.5	-29.8	XY Cas	90.5	-2.4	-32.0
SZ Cyg	52.1	+3.3	+4.5	VW Cas	92.1	-0.7	-48.2
TX Cyg	52.1	-2.9	-1.0	BP Cas	93.0	+3.1	-32.8
BZ Cyg	52.5	+0.8	+3.9	UZ Cas	93.2	-1.2	-40.3
V ₃₂₆ Cyg	53.3	-5.5	+4.6				

Как видно, цефеиды, за исключением двух (MZ Cyg и BP Cas) ложатся на области максимумов плотностей нейтрального водорода. Этот факт также подтверждает, что цефеиды и по галактическим широтам в основном распределены в плотных местах нейтрального водорода.

Если считать, что межзвездный водород распределен в первом приближении в Галактике плоско-параллельными слоями, то, пренебрегая самообращением, мы должны иметь:

$$T_n = T_{n_0} \operatorname{cosec} |b|, \quad (6)$$

$$\log T_n = \log T_{n_0} - \log \sin |b|, \quad (7)$$

где T_n -интегральная температура антенны нейтрального водорода для разных широт Галактики, а T_{n_0} —температура антенны нейтрального водорода в полюсе Галактики.

По данным работы Хелфера и Тейтла мы вычислили интегральную интенсивность радиоизлучения нейтрального водорода по всей линии 21 см в зависимости от галактической широты в промежутке $-25^\circ < b < +25^\circ$ и радиальной скорости в том случае, когда $l = 50^\circ$, и в промежутке $-40^\circ < b < +30^\circ$, когда $l = 90^\circ$.

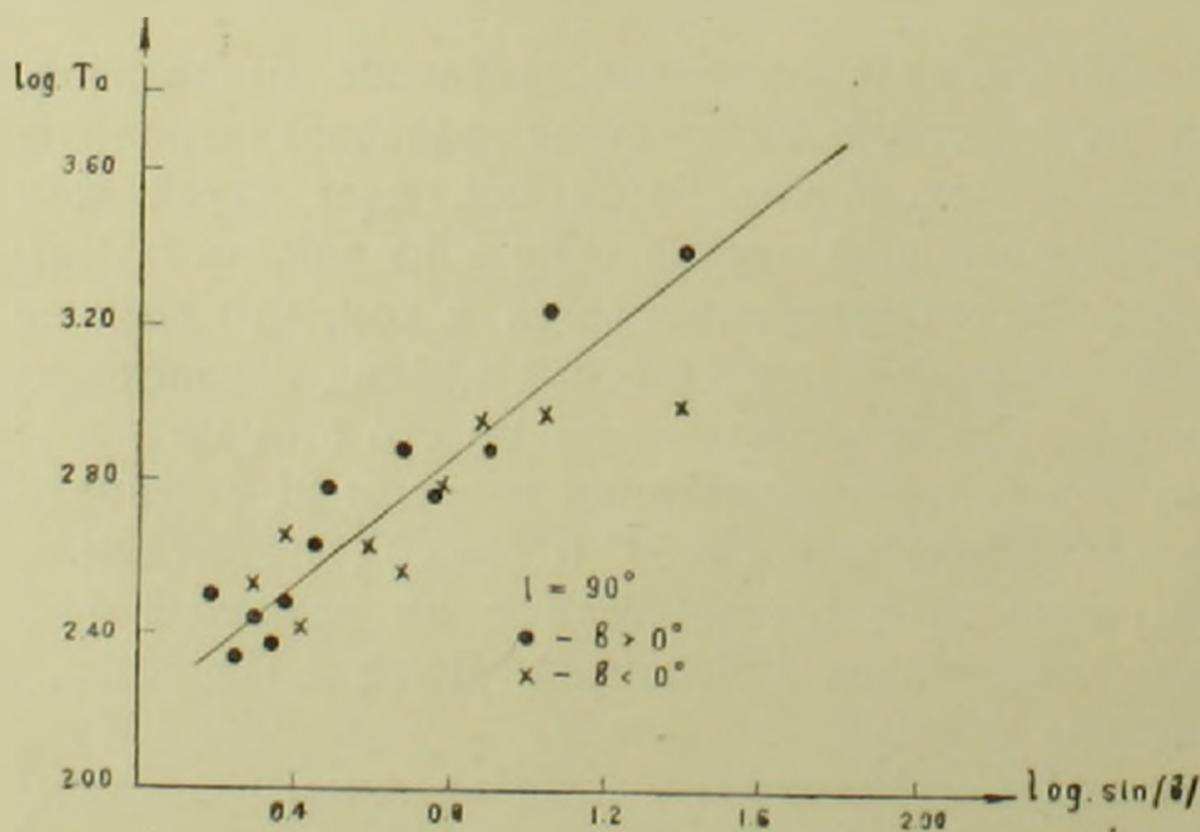


Рис. 4

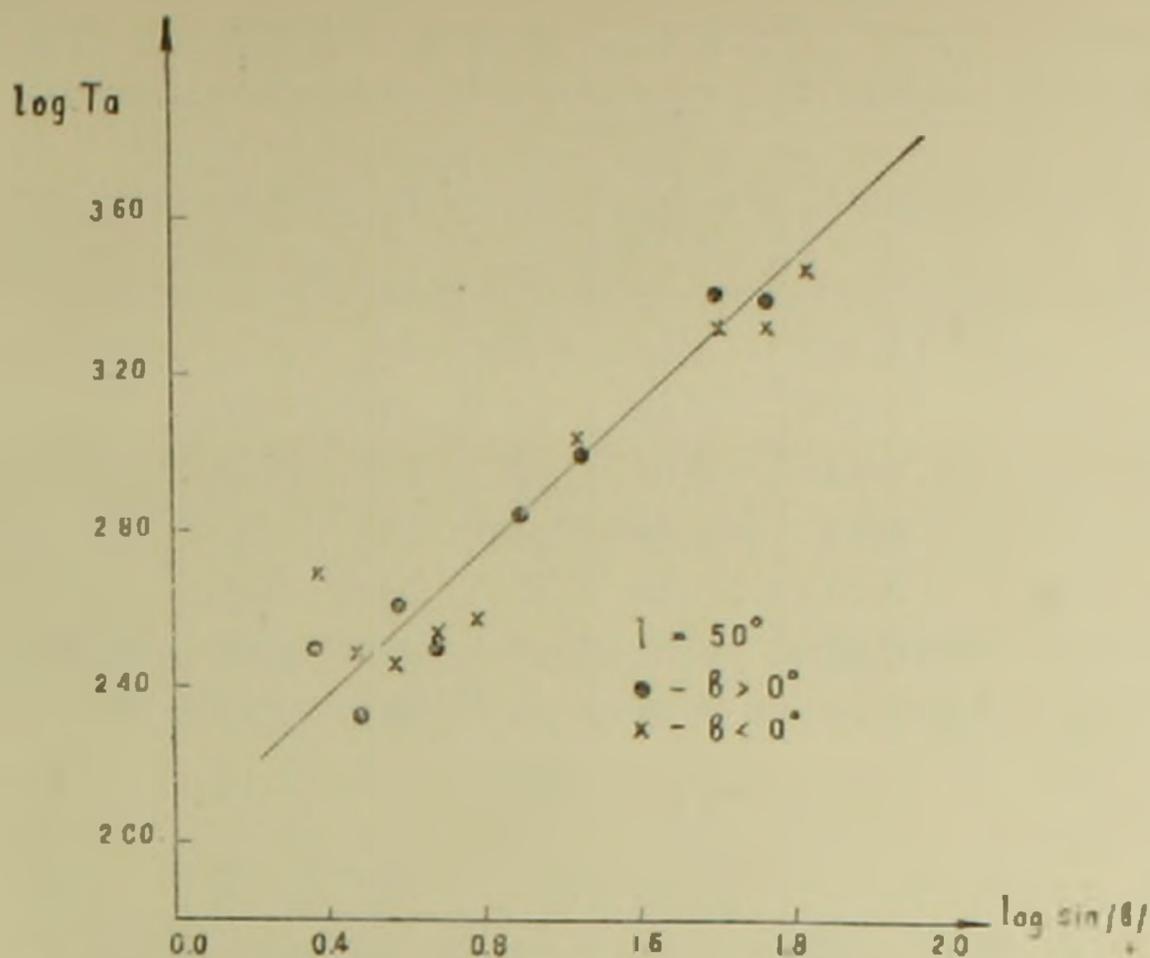


Рис. 5.

Полученные результаты приведены в табл. 4.

Зависимости $\log T_{\text{H}}$ от $\log \sin |b|$ для обеих направлений ($l = 50$ и $l = 90$) представлены графически на рис. 4 и 5, соответственно, где по оси абсцисс отложены $\log \sin |b|$, а по оси ординат логарифмы температуры антенны нейтрального водорода. На рисунках 4 и 5 крестики относятся к положительным широтам, а кружки — к отрицательным широтам.

Как видно из рисунков, зависимость между логарифмами температуры антенны и $\log \sin |b|$ представляется прямой и поэтому можно определить интегральную температуру антенны нейтрального водорода, соответствующую высоким широтам Галактики и, в частности, в полюсе Галактики.

Оказалось, что по данным для $l = 50^\circ$ и $l = 90^\circ$ интегральная температура антенны нейтрального водорода в полюсе Галактики равна 100 и 158 соответственно.

Данные, приведенные в табл. 4, дают представление о количестве атомов межзвездного нейтрального водорода в зависимости от галактических широт. Из этих данных видно, например, что количество атомов нейтрального водорода на экваторе (при $l = 50^\circ$) Галактики примерно в 26 раз больше, чем в полюсе Галактики.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что действительно генетическая связь между нейтральным водородом и галактическими цефеидами реальна, с той точки зрения, что цефеиды, вероятно, образовались в уплотненных областях межзвездного нейтрального водорода.

В заключение считаю приятным долгом выразить глубокую благодарность академику В. А. Амбарцумяну за ценные замечания и советы.

$l = 50^\circ$					$l = 90^\circ$				
b	T_{11}	$\log T_{11}$	$\log \sin b $	$\frac{T_{11}(b)}{T_{11}(90^\circ)}$	b	T_{11}	$\log T_{11}$	$\log \sin b $	$\frac{T_{11}(b)}{T_{11}(90^\circ)}$
+25	313	2.50	+0.38	3.13	+40	232	2.52	+0.19	2.10
20	215	2.33	0.47	2.15	35	222	2.34	0.25	1.40
15	403	2.61	0.59	4.03	30	277	3.14	0.30	1.75
12.5	315	2.50	0.68	3.17	27.7	233	2.38	0.34	1.50
10	392	2.59	0.77	3.92	25	240	2.38	0.38	1.51
7.5	686	2.84	0.89	6.86	20	420	2.62	0.47	2.65
5	1278	3.11	1.05	12.78	15	596	2.78	0.59	3.77
2.5	2645	3.42	1.40	26.45	12.5	737	2.89	0.68	4.66
+1.25	2157	3.39	+1.53	24.57	10	593	2.77	0.77	3.75
0	2600	3.41	∞	26.00	7.5	759	2.88	0.89	4.80
-1.25	2211	3.34	+1.53	22.11	5	1735	3.24	1.05	11.01
2.5	2137	3.32	1.40	21.37	+2.5	1608	3.21	+1.40	10.17
5	1210	3.08	1.05	12.10	0	1678	3.22	∞	10.62
7.5	714	2.85	0.89	7.14	-2.5	947	2.98	+1.40	5.63
10	371	2.57	0.77	3.71	5	971	2.99	1.5	6.14
12.5	331	2.52	0.68	3.31	7.5	911	2.96	0.89	5.76
15	286	2.46	0.59	2.86	10	598	2.78	0.77	3.73
20	309	2.49	0.47	3.09	12.5	374	2.57	0.68	2.35
-25	497	2.70	-0.38	4.97	15	338	2.53	0.59	2.13
					17.5	335	2.52	0.52	2.12
					20	315	2.50	0.47	1.99
					22.5	299	2.47	0.42	1.89
					25	461	2.66	0.38	2.91
					-20	344	2.54	+0.30	2.17

Бюраканская астрофизическая обсерватория
Академии наук Армянской ССР

Հ. Ս. ԲԱԴԱԼՅԱՆ

**Միջաստղային չեզոք ջրածնի և գալակտիկական ցեֆեիդների
գեներացիայի մասին**

Ներկա աշխատությունում ստացված արդյունքները բերում են այն հետևություն, որ միջաստղային չեզոք ջրածնի և գալակտիկական ցեֆեիդների միջև գենետիկ կապը ունի է, նաև բաց նրանց գալակտիկական լայնությունը բաշխվածությունը, այն տեսակետից, որ ցեֆեիդների առաջացումը հավանաբար ձևավորվում է չեզոք ջրածնի խիտ տիրույթներում:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ Г. С. Бадалян, Сообщения Бюр. астрофиз. обс., вып. 17, 1956. ² Дж. Г. Оорт, Г. С. Ван-де Хлюст, С. А. Мюллер, В. А. Н., 12, 452 (1954). ³ Г. А. Хелффер, Г. Е. Тейтел, Ар. Ж., 121, 3, 585 (1955). ⁴ П. П. Паренаго, Бюллетень, Пз, 6, № 3, 102 (1947). ⁵ А. Г. Джой, Ар. Ж., 89, 3, 356 (1939).