

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 15

МАЙ, 1979

ВЫПУСК 2

УДК 524.5.524.3/4—32+524.6

РАССТОЯНИЯ И ГАЛАКТИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛАНЕТАРНЫХ ТУМАННОСТЕЙ

Г. С. ХРОМОВ

Поступила 15 июня 1978

Пересмотрена 25 июля 1978

На основе метода определения расстояний до планетарных туманностей, предложенного в [2], и данных об угловых расширениях 11 объектов построена новая шкала расстояний до планетарных туманностей. Существующие наблюдательные данные позволили определить расстояния до 197 объектов. Новая шкала значительно лучше опубликованных ранее и хорошо согласуется со статистическим параллаксом рассматриваемых объектов.

Исследованные галактические планетарные туманности не показывают концентрации к спиральным ветвям и не наблюдаются на расстояниях более 5 кпс от Солнца. Они образуют весьма уплотненную подсистему и не могут рассматриваться как вероятная составляющая населения галактического гало. Планетарные туманности имеют выраженную концентрацию к галактическому центру.

При исследовании системы планетарных туманностей выявляются значительные эффекты наблюдательной селекции, требующие отдельного рассмотрения.

1. *Введение.* Представление о галактической системе планетарных туманностей является важнейшей составной частью общей схемы их происхождения и эволюции. Оно складывается на основе данных о распределении туманностей по небу, их кинематических свойствах и расстояниях. В этой работе мы попытаемся построить такую комплексную картину. В следующей статье этой же серии мы уточним ее путем введения поправок за наблюдательную селекцию и эволюционные эффекты и сделаем ряд выводов о космогонии планетарных туманностей.

2. *Наблюдаемое галактическое распределение планетарных туманностей.* Наблюдаемое распределение астрономических объектов некоторого класса по небу уже содержит в себе сведения об их галактическом распределении.

Общезвестно (см., например, [1], рис. 2), что планетарные туманности концентрируются как к галактическому экватору, так и к направлению на галактический центр. Подавляющее большинство известных объектов этого класса сосредоточено в полосе $|b^{II}| < 20^\circ$ и в интервале долгот $\pm 60^\circ$ от направления на центр Галактики. На этом важном наблюдательном факте основывается общепринятая сейчас гипотеза о том, что планетарные туманности принадлежат к населению галактического диска.

Сопоставляя степень концентрации планетарных туманностей к галактической плоскости с их угловыми размерами, можно получить предварительные выводы о расстояниях до этих объектов. Рис. 1 и табл. 1 показывают, что концентрация планетарных туманностей к галактическому экватору заметно возрастает с уменьшением их видимого углового размера. Следовательно, объекты меньших угловых размеров в среднем находятся на больших расстояниях от Солнца. Простые геометрические соображения подсказывают, что звездообразные планетарные туманности статистически примерно в 5 раз удаленнее, чем объекты с угловыми размерами более $100''$.

Таблица 1

СРЕДНИЕ АБСОЛЮТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ГАЛАКТИЧЕСКОЙ ШИРОТЫ
ПЛАНЕТАРНЫХ ТУМАННОСТЕЙ РАЗЛИЧНОГО УГЛОВОГО РАЗ-
МЕРА ПО ДАННЫМ [1]

Интервал угловых размеров туманностей в сек. дуги $\Delta\phi''$	$\langle \phi'' \rangle$	$\langle b^{II} \rangle$	Число объектов
1	2	3	4
$\phi'' < 2-5'$ (звездообразные планетарные туманности)	—	10	242
$5'' < \phi'' < 25''$	10''	12	342
$25 < \phi'' < 50$	38	19	97
$50 < \phi'' < 100$	73	20	54
$> 100''$	300	45	59

Примечания к таблице

- 1 — интервал изменения угловых диаметров планетарных туманностей.
- 2 — $\langle \phi'' \rangle$ — среднее взвешенное значение углового диаметра для данного интервала угловых размеров $\Delta\phi''$.
- 3 — $\langle |b^{II}| \rangle$ среднее значение модуля галактической широты для объектов, диаметры которых лежат в данном интервале $\Delta\phi''$. Величины $\langle |b^{II}| \rangle$ относятся к уровню $0.1 N_{\max}$ гистограмм распределения $N(\Delta\phi'') = f(|b^{II}|)$.
- 4 — Число объектов из [1] в данном интервале $\Delta\phi''$.

Эту оценку, вообще говоря, следует исправить за влияние наблюдательной селекции и эволюционные эффекты, так как на больших расстояниях мы наблюдаем преимущественно объекты большей светимости, то есть

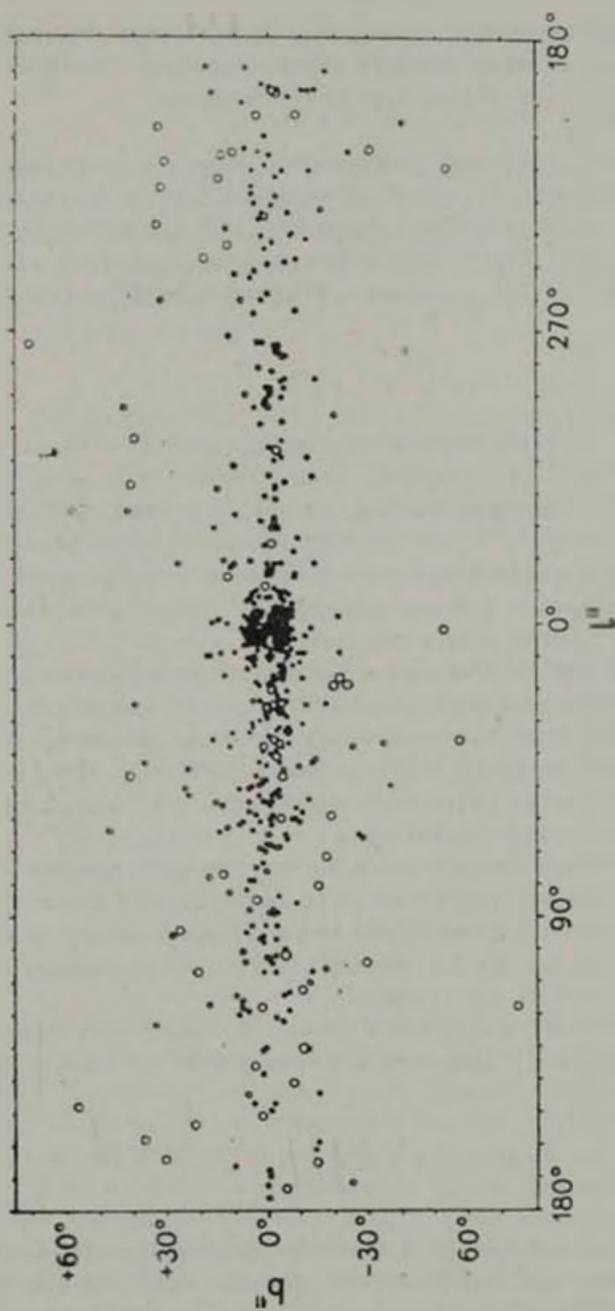


Рис. 1. Наблюдаемое распределение планетарных туманностей различного углового размера в галактических координатах (l'' , b''). Точки — объекты с угловыми диаметрами $< 25''$; малые кружки — объекты с угловыми диаметрами $25'' < \phi'' < 100''$; большие кружки — объекты с угловыми диаметрами $> 100''$. Асимметрия в распределении планетарных туманностей к западу и к востоку от направления на галактический центр обусловлена сравнительно худшей наблюдательностью южного неба.

систематически более компактные и молодые. Однако эмпирический вывод о том, что угловые размеры являются индикатором расстояний до планетарных туманностей, представляется весьма очевидным.

3. *Расстояния до планетарных туманностей.* Вывод о существовании статистической связи между угловыми размерами и удаленностью планетарных туманностей от галактической плоскости дает независимый аргумент в пользу известного метода построения шкалы расстояний до этих объектов, предложенного в [2]. Основное соотношение этого метода имеет вид:

$$R = k (\varphi'' S^{1.5})^{-1} = kM, \quad (1)$$

где R — расстояние до туманности, φ'' — ее угловой радиус, S — поверхностная яркость и k — постоянная, определяемая при калибровке шкалы. Величину M , зависящую только от наблюдаемых физических характеристик данного объекта, мы назовем модулем расстояний.

Наилучшим способом калибровки шкалы было бы использование тригонометрических параллаксов близких объектов. Однако сколько-нибудь надежные данные такого рода пока отсутствуют.

В некоторых прежних работах шкала расстояний калибровалась с помощью спектральных параллаксов пекулярных ядер нескольких планетарных туманностей. Правомочность этого метода вызывает сомнения, связанные с невозможностью проверки справедливости обычного соотношения спектр—светимость для ядер планетарных туманностей или даже для гипотетических холодных компаньонов этих ядер.

С нашей точки зрения, единственным заслуживающим доверия методом определения абсолютных расстояний до индивидуальных планетарных туманностей пока является использование существующих данных о вековом угловом расширении нескольких объектов, вкупе с измеренными спектроскопически скоростями их расширения.

Критический отбор наблюдательных данных позволил нам получить таким путем расстояния до 11 планетарных туманностей с помощью простого соотношения из [3]:

$$R_{\text{пс}} = 21.1 \frac{V_r}{\Delta\varphi''}, \quad (2)$$

где $R_{\text{пс}}$ — расстояние до туманности в парсеках, V_r (км/с) — радиальная скорость ее расширения, $\Delta\varphi''$ — приращение углового радиуса в секундах дуги за 100 лет. Для вычисления модулей расстояния M для тех же объектов, использовались их поверхностные радиояркости на частоте 6630 МГц и угловые радиусы основных структур туманностей из работы [12]. Все

использованные данные сведены в табл. 2. Соответствующая калибровочная зависимость показана на рис. 2 и имеет вид:

$$\lg R_{nc} = \lg k + \lg M = 0.35 + \lg M. \quad (3)$$

Существование отчетливой связи между независимо определенными величинами R_{nc} и M , отвечающей теоретическому предсказанию, служит еще одним доказательством состоятельности метода определения расстояний до планетарных туманностей с помощью соотношения (1). Точность калибровки, определяемая разбросом точек на рис. 2, может быть порядка ± 0.10 в величине $\lg k$.

Таблица 2
СВОДКА ДАННЫХ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ КАЛИБРОВОЧНОГО ГРАФИКА НА РИС. 2

№	Объект	$\Delta\tau$	Ли- температура	V_r (км/с)	Ли- температура	$\lg R$ (пс)	τ	$\lg \frac{F_{6630}}{4\pi r^2}$ (Вт/м ² , Гц ср)	$\lg M$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	NGC 246	1.4 ± 0.5	[3]	(20)	—	2.47 ⁰	214 [*]	-20.38	2.047
2	1535	0.2 ± 0.3	[3]	20	[5]	3.324	21	18.79	2.737
3	3242	1.0 ± 0.4	[3]	19.9	[5]	2.625	24	18.06	2.533
4	3587	2.0 ± 1.0	[3]	22.2	[3]	2.366	180	20.11	2.068
5	6572	1.27 ± 0.13	[3]	17.0	[5]	2.451	20	17.74	2.548
6	6720	0.93	[4]	21.3	[6]	2.832	60	18.76	2.275
7	6853	6.8	[4]	23.0	[7-9]	1.853	480	19.19	1.458
8	7003	0.43 ± 0.26	[3]	12.0	[10]	2.740	15	17.58	2.641
9	7026	0.21 ± 0.15	[3]	40.8	[5]	3.615	8	17.66	2.930
10	7293	3.3 ± 1.4	[3]	(20)	[11]	2.107	350	20.70	1.602
11	NGC 7662	1.76 ± 0.24	[3, 4]	28.5	[5]	2.89 ¹	22 [*]	-18.19	2.597

В табл. 3 приведены расстояния до 197 планетарных туманностей, определенные нами с помощью соотношения (3). По характеру наблюдательных данных, использованных для вычисления M , все объекты разделены на 5 категорий, описание которых дано в пояснениях к таблице. Наибольшую точность имеют расстояния до объектов категорий 1, 2 и 4. В табл. 3 приведена также вспомогательная величина F_{6630} потока радионезлучения туманностей на частоте 6630 МГц, измеренная или вычисленная по оптическим данным с помощью теоретических или эмпирических формул перехода, а также звездные величины ядер туманностей в системе В, исправленные за межзвездное поглощение; они понадобятся нам позднее, при расчете абсолютной светимости ядер.

Приведенные в таблице величины B_0 исправлены за межзвездное поглощение с помощью достаточно очевидного соотношения, основанного на кривой селективного межзвездного поглощения Уитфорда

$$B_0 = B - 2.86 C, \quad (4)$$

где B_0 и B — истинная и видимая звездные величины, а C — постоянная межзвездного покраснения. Значения C для рассматриваемых планетарных туманностей взяты из [12, 16]. Наблюдаемые B -величины ядер собраны в нашей работе [19].

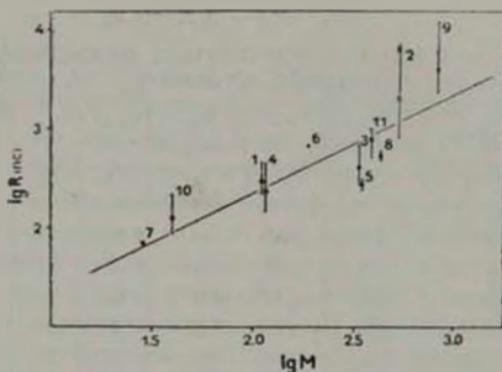


Рис. 2. Калибровочная зависимость для определения коэффициента k в формуле (1) путем сравнения расстояний R_{pc} , определенных по угловым расширениям планетарных туманностей (формула (2), табл. 2) с модулями расстояний M . Цифры соответствуют номерам объектов в табл. 2. Точка 7' показывает положение туманности NGC 6572 с расстояниями, определенными по явно заниженной оценке ее углового расширения в [3]. Калибровочная зависимость имеет вид: $\lg R_{pc} = 0.35 + \lg M$.

В табл. 3 содержатся, по-видимому, практически все планетарные туманности, для которых можно сколько-нибудь уверенно определить расстояния по формуле (3). Полученная шкала расстояний в 1.3 раза короче шкалы [2], в 1.8 раза короче шкалы [20] и в 2.2 раза короче [21], которая, как это было показано в [17], вообще завышена из-за переоценки межзвездного поглощения. Наша шкала оказывается тем более (в 2.7 раза) короче шкалы Кадворса [22], построенной с использованием кинематических данных.

Ввиду таких противоречий необходимо сопоставить полученную шкалу расстояний со статистическим параллаксом планетарных туманностей.

Таблица 3

РАССТОЯНИЯ ДО ГАЛАКТИЧЕСКИХ
ПЛАНЕТАРНЫХ ТУМАННОСТЕЙ

Туманность	$\lg F_{\text{лине}}$ (Вт/м ² Гц)	$\lg R$ (пс)	B_0	Категория
1	2	3	4	5
NGC 40	-26.34	2.72	10 ⁻³	1
246	26.75	2.39	11.3	1
650-1	26.90	2.71		1
1501	26.69	2.70	13.2	1
1514	26.59	2.40	8.6	1
1535	26.88	3.09	11.2	1
2022	27.02	3.05	14.4	1
2346	27.12	2.91	13.1	1
2371-2	27.11	3.03	14.3	1
2392	26.57	3.08	9.9	1
2438	27.14	2.82	13.5	2
2440	26.46	3.00		1
2452	27.16	3.15	(16.8)	2
2610	27.47	3.21	14.1	2
3132	26.64	2.96	9.5	2
3242	26.08	2.88	11.5	1
3587	26.78	2.42	16.0	1
4361	26.74	2.79	12.7	1
5882	26.44	3.28	10.9	2
6058	27.00	2.99	12.8	1
6072	26.90	2.85	(14.5)	2
6153	26.26	2.81		2
6164-5	24.43	1.65		1
6210	26.48	3.07	10.7	1
6302	25.46	2.78		1
6369	25.71	2.76	10.6	2
6439	27.64	3.59	(16.2)	2
6445	26.49	2.73	(16.8)	1
6537	26.24	3.08		1
6543	26.06	2.88	9.4	1
6563	27.90	3.31	17.4	2
6565	27.41	3.41		2
6567	26.87	3.25	(14.7)	1
6572	25.87	2.90	10.3	1
6578	27.40	3.42	10.1	2
6620	27.15	3.63		4
6629	26.62	3.14	10.2	3
6720	26.22	2.56	14.3	1
6741	26.50	3.33		1
6751	27.46	3.07	13.4	1
6772	27.09	3.01	(15.4)	2
6778	27.95	2.78	(14.1)	1
6781	26.53	2.35	(14.4)	2
6790	26.44	3.51	11.6	1
6803	27.00	3.50	(12.4)	1

Таблица 3 (продолжение)

1	2	3	4	5
NGC 6804	26.87	2.98	13.0	1
6807	27.28	3.36	13.1	1
6818	26.43	3.04	12.0	1
6826	26.42	2.95	10.2	1
6833	26.82	3.27	12.4	1
6853	25.91	2.81	(13.7)	1
6879	27.64	3.61		2
6891	26.77	3.51	(11.4)	1
6884	26.75	3.40		1
6886	26.87	3.45		1
6891	27.02	3.08	(11.4)	1
6894	27.11	2.86	(15.5)	2
6905	26.30	2.77	(11.5)	1
7003	26.67	2.68	11.4	2
7009	26.08	2.99	10.7	1
7026	26.59	3.28	(12.6)	1
7027	25.17	2.88	(7.1)	1
7048	26.05	2.51	(15.4)	1
7139	27.55	2.85	(16.6)	2
7293	25.95	1.85	13.3	2
7354	26.21	2.89		1
NGC 7662	26.22	2.95	10.7	1
I 289	27.00	2.91		2
351	27.42	3.48	14.4	1
I 418	25.80	2.99	9.0	1
II 1747	27.04	3.50	14.9	1
2003	27.59	3.50	13.8	1
2120	27.03	2.94		2
2149	26.58	3.25	9.2	1
2165	26.70	3.37		1
3568	27.07	3.41	12.1	1
4593	26.95	3.19	10.9	1
4634	28.82	3.14		1
4732	27.09	3.63	14.5	1
4776	27.43	3.26	12.7	2
4846	27.30	3.41	13.7	1
4947	27.07	3.69	10.6	1
5117	26.67	3.66	11.8	1
II 5217	27.06	3.42	(13.7)	1
A 1	29.64	3.31		3
2	29.29	3.30		3
3	28.85	3.28		3
4	27.39	3.45		3
5	28.59	2.85		3
6	28.49	2.69		3
7	27.29	2.20		3
8	28.23	3.14		3
10	28.54	3.21		3
11	30.15	2.67		3

Таблица 3 (продолжение)

1	2	3	4	5
A 13	27.87	2.76		3
15	29.29	3.29		3
16	28.59	2.89		3
19	26.69	3.03		3
20	29.01	3.05		3
21	25.73	2.04		3
22	28.25	2.50		3
24	26.63	2.44	17.0	3
25	28.69	2.77		3
26	29.39	3.40		3
28	28.91	2.72		3
29	27.44	2.43		3
30	28.96	2.87		3
31	26.65	2.02		3
32	29.13	2.98		3
33	27.65	2.54	15.4	3
34	27.55	2.50		3
36	27.44	2.35		3
37	28.53	3.10		3
38	27.99	2.95		3
39	28.19	2.66		3
40	28.91	3.48		3
41	29.17	3.16		3
42	29.57	3.26		3
43	28.53	2.91		3
44	28.49	3.20		3
45	27.87	2.49		3
46	28.79	3.12		3
49	28.79	3.25		3
50	28.74	3.28		3
51	28.64	2.85		3
52	29.01	3.25		3
53	28.31	3.19		3
54	29.50	3.23		3
55	28.15	2.93		3
56	28.31	2.69		3
57	24.69	3.32		3
59	28.25	3.03		3
60	29.07	3.03		3
61	28.25	2.64		3
62	27.21	2.74		3
63	29.23	3.32		3
64	28.85	3.14		3
65	28.53	2.84	16.0	3
66	27.87	2.57		3
67	29.33	3.00	18.2	3
68	29.13	3.52		3
70	28.53	2.97		3
71	28.17	2.78	16.8	3

Таблица 3 (окончание)

1	2	3	4	5
A 72	-27.59	2.82		3
73	29.07	3.08		3
74	27.06	2.23		3
75	29.34	3.13		3
76	29.39	3.51		3
77	27.87	3.10	10 ^m 8	3
78	29.39	2.82		3
79	27.67	2.97	18.2	3
80	27.77	2.81	(19.7)	3
81	28.49	3.06		3
82	28.15	2.89		3
83	29.73	3.27		3
84	26.64	2.70		3
A 86	29.13	3.13		3
Ba 1	27.89	3.11		1
BD: 30°3639	26.22	2.82	8.5	1
Bl 3-11	24.59	2.76		4
C _a 3-1	26.90	3.48		1
320	27.57	3.37	13.3	1
] 900	26.93	3.21		1
H 1-42	24.62	3.09		4
Hb 5	26.28	3.16		4
Hb 6	26.74	3.38	11.7	2
Hb 12	27.15	3.77	12.7	1
Ho 2-131	26.21	3.29		5
Hu 1-1	27.89	3.66		1
Hu 1-2	27.04	3.47		1
Hu 2-1	26.90	3.60		1
K 2-4	26.47	2.02		2
M 1-1	27.34	3.50	14.3	1
M 1-7	27.77	2.92		1
M 1-26	26.03	3.47	9.0	4
M 1-29	26.95	3.49		4
M 1-32	26.46	3.34		5
M 1-42	26.63	3.35		4
M 1-46	26.52	3.30		4
M 1-48	28.26	3.87		4
M 1-50	27.43	3.67		4
M 1-53	27.76	3.71		4
M 1-54	27.33	3.41		4
M 1-80	27.89	3.44		2
M 2-24	26.56	3.41		4
M 2-33	27.81	3.80		4
M 2-36	26.91	3.49		4
Me 1-1	27.29	3.86		1
Me 2-1	26.94	3.38	13.9	1
Me 2-2	27.55	3.74		1
VV 41	26.56	2.33		2
VV 42	26.88	2.78		2
VV 75	27.62	3.30		2
VV 232	26.82	3.40		2
VV 473	27.05	2.76		2

Примечания к таблице 3

В столбце 5 приведена категория объекта по характеру наблюдательных данных, использованных для вычисления расстояния по формуле (3):

1 — туманности с известными радиопотоками, угловыми размерами и морфологическим типом согласно [18], для которых в [12] рассчитаны поверхностные радиояркости $S_{\text{эфф}}$.

2 — туманности с известными радиопотоками, угловыми размерами и морфологическим типом, согласно [18], не вошедшие в [12]. Наблюдательные данные о них брались из каталога [13] и некоторых более поздних радионастрономических обзоров.

3 — слабые планетарные туманности из списка [14] с известными фотографическими поверхностными яркостями в системе Паломарского атласа неба, угловыми размерами и, реже, морфологическим типом. Для перехода к поверхностным радиояркостям использовалось эмпирическое соотношение, полученное в [12]. Межзвездное поглощение не учитывалось из-за отсутствия необходимых данных.

4 — компактные планетарные туманности в направлении на галактический центр из [15] с известными потоками излучения в линии $H\alpha$ и угловыми размерами. Поправки за межзвездное поглощение брались из [16], а перерасчет исправленных величин $F(H\alpha)$ в радиопотоки $F_{\text{эфф}}$ производился с помощью известного теоретического соотношения (см., напр., [17]).

5 — прочие туманности из каталога [1] с известными угловыми размерами и какими-либо наблюдательными данными, позволяющими оценить межзвездное поглощение и радиопоток.

4. *Статистический параллакс планетарных туманностей.* В нашей работе [23] был проведен подробный анализ существующих данных о кинематике галактических планетарных туманностей и исследована надежность получаемых на их основе результатов. Сделан вывод о том, что наибольшего доверия заслуживает статистический параллакс, рассчитанный по τ -компонентам собственных движений планетарных туманностей $\bar{\pi}_{\tau}$.

Собственные движения известны сейчас для 62 планетарных туманностей (см. также табл. III в [22]); 58 из этих объектов попали в нашу табл. 3. Рассчитывая среднее расстояние до этой группы туманностей и сравнивая соответствующий средний параллакс $\bar{\pi}$ с параллаксом $\bar{\pi}_{\tau}$ из [23], имеем

$$\bar{\pi}_{\tau} = 0,00079 \text{ — по нашей шкале расстояний.}$$

$$\bar{\pi}_{\tau} = 0,00068 \pm 0,00022 \text{ — по } \tau\text{-компонентам собственных движений тех же объектов.}$$

Очевидно, что в пределах точности калибровки нашей шкалы расстояний (см. рис. 3) и современной точности определения статистического параллакса, полученные значения средних параллаксов $\bar{\pi}$ и $\bar{\pi}_{\tau}$ хорошо согласуются. Это подтверждает правильность принятого нами абсолютного масштаба шкалы расстояний.

5. *Галактическое распределение планетарных туманностей.* Убедившись в непротиворечивости нашей шкалы расстояний данным о кинематике пла-

нетарных туманностей, сделаем некоторые выводы об их галактическом распределении.

На рис. 3 приведена картина распределения 197 планетарных туманностей из табл. 3 в проекции на галактическую плоскость. Очевидно, что планетарные туманности в непосредственной близости от Солнца распределены примерно однородно. Некоторый дефицит объектов в области галактических долгот $250\text{--}340^\circ$ обусловлен неполнотой обзоров Южного неба.

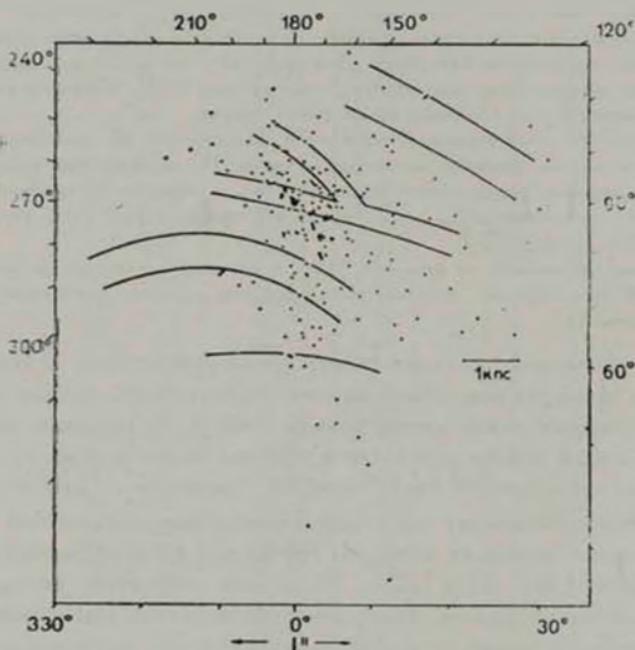


Рис. 3. Распределение планетарных туманностей из табл. 3 в проекции на галактическую плоскость. Картина спиральных ветвей — согласно работе [24].

Наиболее удаленные объекты наблюдаются в направлении галактического центра на расстояниях порядка $5\text{--}6$ кпс. Значит, как и следовало ожидать, наблюдаемые планетарные туманности находятся вне центральных областей Галактики. В противном случае трудно было бы понять, каким образом их оптическое излучение доходит до нас сквозь мощные сгущения межзвездной материи, окружающие ядро Галактики.

Еще одним существенным выводом из рис. 3 является отсутствие сколько-нибудь заметной концентрации планетарных туманностей в спиральных ветвях. Некоторое увеличение поверхностной плотности распре-

деления планетарных туманностей в непосредственной близости от Солнца объясняется наблюдательной селекцией, вследствие которой протяженные объекты из списка [14] обнаруживаются в среднем только на малых расстояниях.

Использованный нами метод определения расстояний до планетарных туманностей требует знания их угловых размеров. Это обстоятельство, вместе с влиянием наблюдательной селекции и слабой фотометрической обследованностью удаленных компактных планетарных туманностей, привело к кажущемуся падению поверхностной плотности их системы в направлении на галактический центр. На самом деле, как это следует из рис. 1 и данных о распределении планетарных туманностей в спиральной галактике М 31 [25], поверхностная плотность должна возрастать к центру Галактики.

Применяя простой графический метод, описанный в [26], можно определить наблюдаемый радиальный градиент поверхностной плотности галактической системы планетарных туманностей.

Метод основан на сравнении чисел планетарных туманностей в двух секторах галактической плоскости—внутреннем и внешнем по отношению к окружности, описанной из центра Галактики через Солнце. Расстояние Солнца от галактического центра принималось равным 9 кпс. Для уменьшения влияния возможной неполноты выборки, мы использовали только те объекты, проекции которых попадали в окружность радиусом 0,8 кпс, списанную вокруг Солнца в галактической плоскости. Всего использовалось 57 туманностей. Полученное в итоге наблюдаемое распределение поверхностной плотности системы планетарных туманностей $\mu(R)$ описывается соотношением

$$\mu(R) = \mu_0 e^{-\lambda R} = 8.1 \cdot 10^2 e^{-0.32R}, \quad (5)$$

где $\lambda = 0.32$ — показатель степени экспоненциального распределения поверхностной плотности, а $\mu_0 = 8.1 \cdot 10^2$ кпс⁻² — поверхностная плотность планетарных туманностей в центре Галактики. Полное число планетарных туманностей в Галактике $N = 2\pi\mu_0/\lambda^2 = 5 \cdot 10^4$, а их местная поверхностная плотность $\mu(\text{Loc}) = 45.3$ кпс⁻².

На рис. 4 показан ход пространственной плотности планетарных туманностей с высотой над галактической плоскостью. Он получен путем подсчета туманностей из табл. 3, попадающих в цилиндр радиусом 0.5 кпс вокруг Солнца, перпендикулярный к галактической плоскости.

Как обычно, эмпирическая зависимость пространственной плотности объектов от высоты над галактической плоскостью оказывается промежуточной между экспоненциальным и нормальным распределениями. В нашем случае она характеризуется следующими параметрами:

$$Z_{0,1} = 0.2 \text{ кпс.}$$

$$\langle |Z| \rangle = 0.13 \text{ кпс.}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{d \lg v}{dZ} &= -4.34 \text{ кпс}^{-1} \\ v_Z &= v_0 e^{-10Z} \\ v_0 &= 4 \cdot 10^3 \text{ кпс}^{-3} \end{aligned} \right\} \text{— для экспоненциального распределения,}$$

$$D(Z) = (0.1)^2 \text{ кпс}^2 \text{— для нормального распределения.}$$

Здесь v_Z — пространственная плотность планетарных туманностей на кпс³; v_0 — наблюдаемая пространственная плотность в галактической плоскости, Z — высота над галактической плоскостью в кпс.

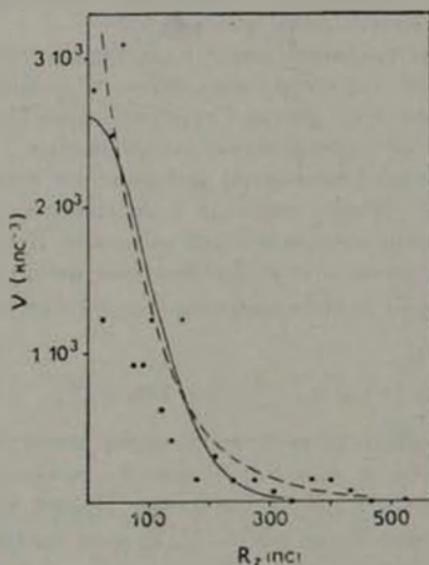


Рис. 4. Зависимость пространственной плотности ближайших планетарных туманностей от расстояния над галактической плоскостью. Пунктирная линия — экспоненциальная зависимость $v_Z = 4 \cdot 10^3 e^{-10Z}$. Сплошная линия — нормальное распределение с дисперсией $(0.1 \text{ кпс})^2$.

$Z_{0,1}$ — высота над галактической плоскостью, соответствующая плотности $v_Z = 0.1 v_0$. $D(Z)$ — дисперсия нормального распределения $v_Z = \bar{v}(Z)$. Солнце считается лежащим в галактической плоскости.

Как показывает рис. 4, простые теоретические зависимости плохо представляют наблюдаемое распределение точек, имеющее значительный

разброс. Распределение V_z оказалось вполне симметрично относительно $Z = 0$. Некоторая депрессия точек на рис. 4 вблизи $Z = 0$ отражает дефицит планетарных туманностей, наблюдаемых вблизи галактической плоскости, что, очевидно, есть следствие значительного межзвездного поглощения, препятствующего обнаружению планетарных туманностей даже в непосредственной близости от Солнца.

Полученные результаты вполне определенно говорят о том, что планетарные туманности образуют весьма уплощенную систему и должны практически отсутствовать в галактическом гало.

Сравнивая данные о распределении планетарных туманностей по Z -координате с их кинематическими характеристиками, выведенными в [23], мы получаем примечательное совпадение. Так, согласно теоретическим представлениям звездной динамики [27], среднему удалению от галактической плоскости, равному 0.13 кпс, должна соответствовать средняя скорость объектов по Z -координате при пересечении ими галактической плоскости $\langle |V_{z0}| \rangle = 10$ км/с. В работе [23] для 348 планетарных туманностей с известными лучевыми скоростями получено $\langle |V_z| \rangle = 6$ км/с; заметим, что по физическому смыслу $\langle |V_z| \rangle = \lim \langle |V_{z0}| \rangle$. Вероятно, соответствие рассмотренных выше пространственных и кинематических характеристик может считаться дополнительным доводом в пользу построенной нами шкалы расстояний.

Астрономический совет
АН СССР

THE DISTANCES AND THE GALACTIC DISTRIBUTION OF THE PLANETARY NEBULAE

G. S. KHROMOV

The new distance scale for the planetary nebulae is constructed on the basis of the method of the determination of their distances suggested in [2] together with the data on the angular expansion for 11 nebulae. The scale includes 197 objects with observational data complete enough for the distance to be determined. The new scale is remarkably shorter, than the others published and is well compatible with the statistical parallax data.

The planetary nebulae with the distances determined do not show any concentration in the spiral arms and are distributed within 5 kps from the Sun. They form a rather flattened subsystem and cannot be treated as the possible component of the galactic halo; the degree of their concentration to the galactic center is high.

Strong effects of the observational selection become evident in the process of the study of the planetary nebulae system; their special analysis is needed.

ЛИТЕРАТУРА

1. *L. Perek, L. Kohoutek*, Catalogue of Galactic Planetary Nebulae, Prague, 1967.
2. *И. С. Шкловский*, Астрон. ж., 33, 222, 1956.
3. *M. Liller, B. Welther, W. Liller*, Ap. J., 144, 280, 1966.
4. *О. Н. Орлова*, Астрон. ж., 49, 1164, 1972.
5. *О. С. Wilson*, Ap. J., 111, 279, 1950.
6. *А. Аллер, У. Лиллер*, Планетарные туманности, Мир, М., 1971.
7. *J. Meaburn*, Astron. Astrophys., 13, 478, 1971.
8. *A. C. Danks*, Astrophys. Space Sci., 14, 480, 1971.
9. *В. Т. Дорошенко*, Астрон. ж., 48, 455, 1971.
10. *W. Ford, V. Rubin*, Astrophys. Lett., 8, 67, 1971.
11. *G. Garranza, G. Courtes, R. Louise*, Planetary Nebulae, Dordrecht-Holland, 1968, p. 249.
12. *Г. С. Хромов*, Астрон. ж., 53, 961, 1976.
13. *L. Higgs*, Catalogue of Radio Observations of Planetary Nebulae and Related Optical Data, Nat. Res. Council of Canada, 1971.
14. *G. O. Abell*, Ap. J., 144, 259, 1966.
15. *Б. А. Воронцов-Вельяминов, Е. Б. Костякова, О. Д. Докучаев, В. П. Архипова*, Астрон. ж., 52, 264, 1975.
16. *J. B. Kaler*, Ap. J., Suppl. ser., 31, 517, 1976.
17. *Г. С. Хромов*, Астрон. ж., 53, 762, 1976.
18. *G. S. Khromov, L. Kohoutek*, Planetary Nebulae, Dordrecht-Holland, 1968, p. 227.
19. *А. С. Пилютин, Г. С. Хромов*, Астрон. ж., 58, 631, 1979.
20. *C. R. O'Dell*, Ap. J., 135, 371, 1962.
21. *J. H. Cahn, J. B. Kaler*, Ap. J., Suppl. ser., 22, 319, 1974.
22. *K. M. Sudworth*, A. J., 79, 1384, 1974.
23. *М. Н. Куоса, Г. С. Хромов*, Астрофизика, 15, 105, 1979.
24. *R. M. Humphreys*, A. J., 75, 602, 1970.
25. *H. C. Ford*, Planetary Nebulae, Dordrecht, Holland—Boston, U.S.A., 1978, p. 19.
26. *D. Alloin, C. Cruz-Gonzalez, M. Peimbert*, Ap. J., 205, 74, 1976.
27. *J. H. Oort*, Galactic Structure, Chicago, 1965, p. 455.