

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 15

АВГУСТ, 1979

ВЫПУСК 3

УДК 524.5/6.524.3

СИСТЕМА ГАЛАКТИЧЕСКИХ ПЛАНЕТАРНЫХ ТУМАННОСТЕЙ, ЭВОЛЮЦИЯ ЯДЕР

Г. С. ХРОМОВ

Поступила 15 июня 1978

Пересмотрена 8 января 1979

На основании построенной ранее шкалы расстояний, исследована галактическая система планетарных туманностей. Выявлены значительные эффекты наблюдательной селекции, приводящие к тому, что на больших расстояниях мы наблюдаем все более яркие, молодые и плотные объекты.

Заново оценены массы туманностей, абсолютные звездные величины туманностей и их ядер, ряд других важных физических параметров этих объектов. Оценены пределы эволюционных изменений этих параметров.

Уточнено положение ядер планетарных туманностей на диаграмме Герцшпрунга—Рессела. Обнаружены очень быстрые изменения светимости ядер туманностей после отделения оболочки, напоминающие релаксационный процесс.

Получены новые оценки пространственной плотности планетарных туманностей и их полного числа в Галактике. На основании данных о пространственном распределении и кинематике планетарных туманностей сделан вывод об их принадлежности к весьма уплотненной подсистеме старого галактического населения типа I. Возможно, что дальними предшественниками планетарных туманностей являются звезды главной последовательности типов В8—А5—F.

1. *Введение.* В предыдущей работе этой серии [1] мы определили расстояния до 197 планетарных туманностей, задавшись предположением о постоянстве и сходстве их светящихся масс. Масштаб шкалы хорошо соответствует статистическому параллаксу туманностей, определенному из независимых кинематических данных. В той же статье были сделаны некоторые предварительные выводы о галактическом распределении планетарных туманностей.

Настоящая работа посвящена дальнейшему исследованию системы галактических планетарных туманностей и включает в себя обсуждение влияния наблюдательной селекции и эволюционных эффектов.

2. *Наблюдательная селекция и полнота выборки.* В работе [1] мы отметили, что наблюдательная селекция искажает полученную картину распределения поверхностной плотности системы галактических планетарных туманностей. Наши выводы об этой системе основаны на изучении некоторой случайной выборки объектов, для которых существуют достаточно полные фотометрические данные и сведения об угловых размерах. Поэтому в выборку не вошли многочисленные звездообразные объекты, но не вошли и многие туманности больших угловых размеров и предельно низкой поверхностной яркости из списка [2]. Следовательно, предстоит понять, в какой мере наша выборка может представлять все галактические планетарные туманности.

Первое представление о ее полноте можно составить, исследуя прирост числа объектов с увеличением объема пространства, в котором производится их подсчет. Поскольку планетарные туманности образуют весьма уплощенную галактическую подсистему, подсчет следует производить в пространственных цилиндрах различного радиуса, перпендикулярных галактической плоскости, и с Солнцем в центре симметрии. Пространственная плотность объектов, естественно, считается постоянной.

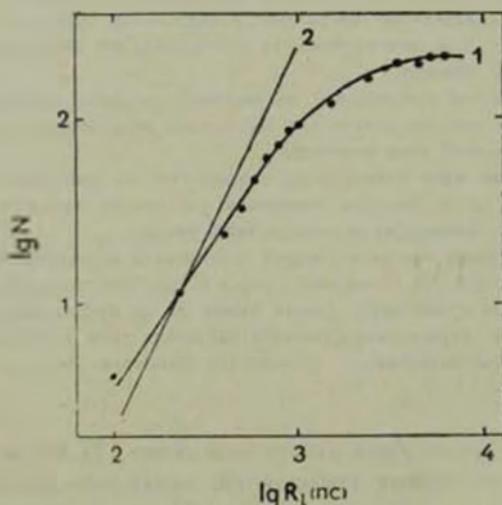


Рис. 1. Прирост числа планетарных туманностей в нашей выборке в зависимости от радиуса R_1 цилиндрического объема пространства, в котором производится их подсчет. 1. Эмпирическая зависимость $N \div R_1^3$. 2. Ожидаемая теоретическая зависимость $N \sim R_1^3$ в предположении о постоянстве пространственной плотности планетарных туманностей.

Результаты такого анализа показаны на рис. 1. Очевидно, что число объектов в нашей выборке систематически ниже ожидаемого на основании

простых геометрических соображений. При радиусе цилиндра всего лишь 0,8 кпс, число планетарных туманностей с определенными нами расстояниями оказывается примерно вдвое меньше ожидаемого.

Для более тонкого исследования влияния наблюдательной селекции целесообразно рассмотреть функцию светимости планетарных туманностей.

Зная расстояния и воспользовавшись собранными в работе [1] данными о плотностях потоков радиоизлучения планетарных туманностей на частоте 6630 МГц, нетрудно рассчитать абсолютные радиосветимости этих объектов по достаточно очевидной формуле:

$$\lg L_{6630} = 41.08 + 2 \lg R_{\text{пс}} + \lg F_{6630}^*, \quad (1)$$

где $[L_{6630}] = \text{эрг/с} \cdot \text{Гц}$, а $[F_{6630}] = \text{Вт/м}^2 \cdot \text{Гц}$. Такой расчет был выполнен для всех 197 объектов с определенными в [1] расстояниями; его результаты для каждого объекта не приводятся здесь ради экономии места.

Определим функцию светимости для планетарных туманностей — $A(\Delta L)$ как число объектов в нашей выборке, радиосветимость которых L находится в интервале ΔL , наблюдаемого диапазона ее изменения. Наиболее примечательным свойством функции $A(\Delta L)$ является ее зависимость от расстояния до туманностей. В этом нетрудно убедиться, построив $A(\Delta L)$ для групп туманностей, лежащих на разных расстояниях согласно [1] (см. рис. 2).

Очевидно, что с увеличением расстояния максимум функции светимости планетарных туманностей сдвигается в сторону все больших величин L . Предел этой тенденции демонстрируют объекты в Магеллановых облаках, где, естественно, мы наблюдаем лишь самые яркие туманности. Левые части гистограммы на рис. 2 почти исключительно образованы слабыми протяженными объектами из списка [2].

Появление двух максимумов на рис. 2 объясняется наблюдательной селекцией, вследствие которой многие планетарные туманности малой поверхностной яркости и небольших угловых размеров остаются неизвестными.

Тот факт, что полученные нами светимости планетарных туманностей распределены в довольно широком интервале, имеет четкий эволюционный смысл. Действительно, если считать, что планетарные туманности имеют одинаковые массы и расширяются в окружающее пространство с примерно одинаковыми скоростями, то, как нетрудно показать, их светимости для рекомбинационного или свободно-свободного излучения подчинятся простой зависимости:

$$L \sim n_e \sim R_n^{-3} \sim (V_e t)^{-3}, \quad (2)$$

где n_e — электронная плотность, R_n — линейный радиус туманности, V_e — скорость ее расширения, а t — возраст объекта.

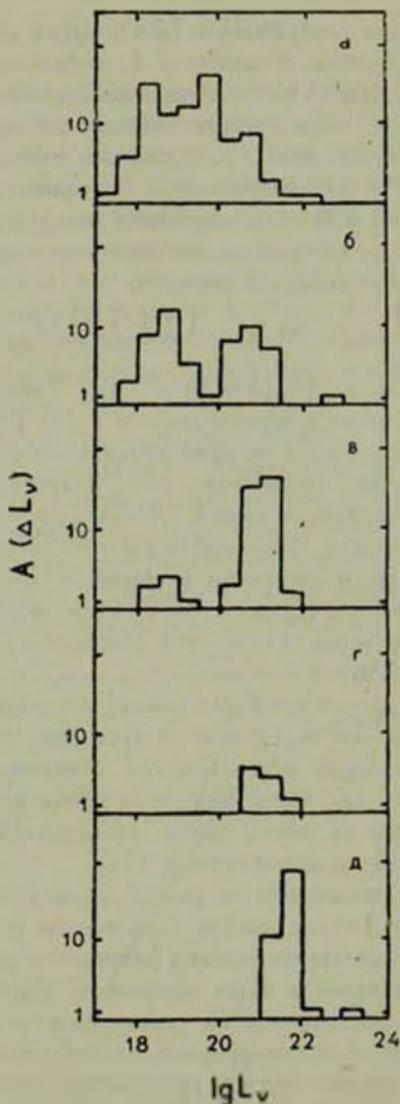


Рис. 2. Ненормированная функция радиосветности планетарных туманностей $A(\Delta L_\nu)$. Светимость соответствует полному потоку радиоизлучения туманностей на частоте 6630 МГц в $\text{эрг/с} \cdot \text{Гц}$.

а) 83 объекта на расстояниях $0 < R < 1$ кпс.

б) 56 объектов на расстояниях $1 < R < 2$ кпс.

в) 44 объекта на расстояниях $2 < R < 4$ кпс.

г) 13 объектов на расстояниях $R > 4$ кпс.

д) 30 планетарных туманностей в Большом и Малом Магеллановых облаках на расстояниях 52 и 63 кпс соответственно. Фотометрические данные взяты из работы [3].

Имея это в виду, представим функцию светимости планетарных туманностей в несколько ином виде, как это показано на рис. 3. Легко понять, что если бы наша выборка была полна, никакой зависимости между L и R_{nc} не наблюдалось бы. Вполне естественно, что из-за наблюдательной селекции на больших расстояниях мы видим объекты систематически большей светимости, а следовательно, более молодые и плотные. Уменьшение крутизны зависимости на рис. 3 при больших R_{nc} объясняется существованием предельной светимости планетарных туманностей; она достигается при плотностях основной структуры порядка 10^6 — 10^7 см $^{-3}$, характерных для самых молодых объектов этого класса. Примечательно, что этот же предел светимости характерен и для туманностей в Магеллановых облаках, галактике в Печи и М 31.

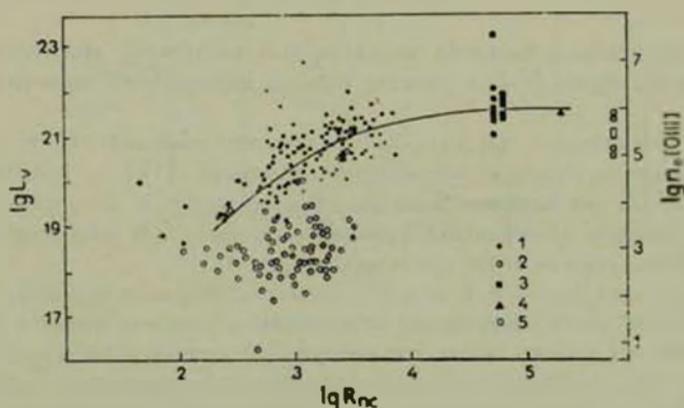


Рис. 3. Зависимость светимости планетарных туманностей от расстояния R_{nc} .

1. Объекты из табл. 3 в работе [1], кроме туманностей низкой поверхностной яркости из списка [2].
2. Объекты низкой поверхностной яркости из списка [2].
3. Планетарные туманности в Магеллановых облаках.
4. Планетарная туманность в галактике в Печи. Радиосветимость рассчитана через поток в линии H_{α} , исправленный за межзвездное поглощение.
5. Планетарные туманности в М 31 по данным [5]. Радиосветимости рассчитаны через поток в линии H_{α} , не исправленный за межзвездное поглощение.

Шкала электронных плотностей основной структуры планетарных туманностей соответствует полученному нами по данным работы [6] приближенному эмпирическому соотношению $\lg n_e [O III] = -15.5 + \lg L$.

График на рис. 3 может служить для грубой оценки расстояний до удаленных звездообразных планетарных туманностей по известной электронной плотности их основной структуры. Шкала электронных плотностей на рис. 3 введена с помощью полученного нами эмпирического соотношения типа (2). Этот способ оценки расстояний в известном смысле анало-

гичен предложенному Б. А. Воронцовым-Вельяминовым методу построения шкалы расстояний до планетарных туманностей, хотя его обоснование здесь совсем иное.

Исследование функции светимости планетарных туманностей позволяет не только выявить, но и численно оценить влияние наблюдательной селекции. Нетрудно понять, что при постоянном темпе образования планетарных туманностей интегральное число объектов, моложе некоторого возраста t , пропорционально самой величине t . Воспользовавшись соотношением (2), получаем, что число туманностей светимости $L_0 < L_0$, где L_0 — светимость „новорожденной“ планетарной туманности, — $N(L)$ выражается простой формулой:

$$N(L_0) = CL_0^{-1.5}, \quad (3)$$

где C — масштабный параметр, определяемый из условий абсолютной калибровки. Функцию $N(L_0)$ уместно назвать интегральной функцией светимости.

Для установления пределов эволюционного изменения L_0 и определения параметра C можно использовать функцию $A(\Delta L_0)$, представленную на рис. 2а как наиболее полную. Эмпирическая и «подогнанная» к ней теоретическая интегральная функция светимости для планетарных туманностей из нашей выборки приведены на рис. 4.

Сопоставляя рис. 3 и 4, можно рассчитать поправки, преобразующие известные нам числа планетарных туманностей в том или ином интервале расстояний от Солнца в истинные, которые наблюдались бы в отсутствие селекции. Так, нетрудно показать, что вместо 86 туманностей с расстояниями $R_{pc} < 1$ кпс, мы должны были бы иметь 327 объектов, то есть в 3.8 раза больше. Для Магеллановых облаков поправочный коэффициент равен 33.

3. Уточненные значения поверхностной и пространственной плотности системы галактических планетарных туманностей. Поправки за эффект наблюдательной селекции можно использовать для уточнения оценок поверхностной плотности системы галактических планетарных туманностей, полученных в нашей работе [1]. Ниже приведены окончательные величины соответствующих параметров:

Местная поверхностная плотность системы галактических планетарных туманностей $\mu(L_{0c}) = 1.7 \cdot 10^2$ кпс⁻²,
 Поверхностная плотность в области галактического центра $\mu_0 = 3.1 \cdot 10^3$ кпс⁻².

Оценка местной пространственной плотности получена в предположении, что эффективная толщина системы планетарных туманностей в окрестностях Солнца равна 200 пс (см. [1]).

Очевидно, таким образом, что пока мы знаем лишь очень мелкую долю галактических планетарных туманностей. Тот же вывод справедлив и для планетарных туманностей в других галактиках. Используя выведенное значение коэффициента \bar{k} , нетрудно получить следующие оценки вероятного полного числа планетарных туманностей в близких галактиках:

Большое Магелланово облако ($M = 1 \cdot 10^{10} M_{\odot}$) $1.5 \cdot 10^4$.
 Малое Магелланово облако ($M = 2 \cdot 10^9 M_{\odot}$) $3 \cdot 10^3$.
 Галактика M 31 ($M = 3 \cdot 10^{11} M_{\odot}$) $4.5 \cdot 10^5$.

Роль, которую галактические планетарные туманности и их ядра могут играть в пополнении газом межзвездной среды, ее ионизации и балансе вещества и энергии в области центра, подлежит отдельному исследованию. Во всяком случае, наши предварительные представления об этой роли не столь пессимистичны, как выводы, сделанные в работе [7].

4. Светимость ядер планетарных туманностей и ее эволюционные изменения. Зная расстояния до многих планетарных туманностей, мы получаем возможность определить светимость и уточнить положение ядер на диаграмме Герцшпрунга—Рессела.

В работе [8] мы определили «гелиевые» занстровские температуры $T_Z(\text{He II})$ для ядер 61 планетарной туманности и показали, что они наилучшим образом представляют истинные эффективные температуры этих звезд. В той же работе рассчитаны коэффициенты диллюции W для всех ядер с известными $T_Z(\text{He II})$; напомним, что коэффициенты диллюции определяются с той же степенью надежности, как и сами температуры ядер по методу Занстра.

Располагая данными о величинах W , угловых размерах и расстояниях для ряда планетарных туманностей, можно без труда рассчитать радиусы ядер R_j и затем — энергетическую светимость этих звезд по очевидной формуле

$$\frac{L}{L_{\odot}} = \frac{4\pi R_j^2 \sigma T_Z(\text{He II})^4}{3.83 \cdot 10^{33}}, \quad (4)$$

где σ — постоянная Стефана—Больцмана.

Таким путем мы получили светимости ядер 52 планетарных туманностей из числа тех, для которых в работе [8] были определены температуры $T_Z(\text{He II})$ и коэффициенты W . Эти данные были дополнены оценками светимости ядер еще 26 объектов с известными из [8] «водородными»

звездными температурами $T_Z(H)$. В этом случае для расчета светимости использовалась следующая приближенная процедура.

В соответствии с эмпирическим соотношением между $T_Z(H)$ и $T_Z(He II)$, полученным в [8], принималось, что $T_Z(He II) \approx 2T_Z(H)$. Используя звездные величины ядер туманностей в системе В, исправленные за межзвездное поглощение в работе [8], мы определяли абсолютные энергетические потоки от ядер на границе земной атмосферы с помощью калибровки Джонсона [11], относя их к $\lambda_{0.1}(B) = 4300 \text{ \AA}$.

Считая ядра туманностей планковскими излучателями с температурой $T = T_Z(He II)$ и зная абсолютный поток этого излучения на единицу частоты на длине волны 4300 \AA , мы рассчитывали полный поток от ядра $F(bol)$, каким он представлялся бы земному наблюдателю в отсутствие поглощающей высокочастотное излучение туманности. Наконец, зная расстояние до туманности R_{nc} , мы рассчитывали относительную светимость ядра по очевидной формуле:

$$\frac{L}{L_{\odot}} = \frac{4R_{nc}^2 F(bol)}{3.83 \cdot 10^{33}} \quad (5)$$

Этот метод менее надежен, чем описанный ранее, и полученные с его помощью светимости мы будем считать приближенными оценками.

На рис. 5 показано положение ядер 78 планетарных туманностей на диаграмме Герцшпрунга—Рессела по нашим данным. Ядра образуют некоторое подобие линейной последовательности, направленной в область меньших светимостей и больших температур. Учитывая значительный разброс точек, уместнее говорить об области на диаграмме, занимаемой ядрами планетарных туманностей, в пределах которой располагаются их индивидуальные эволюционные треки. Отметим, что светимости и температуры ядер старых планетарных туманностей А 24, 33 и 65 приближаются к величинам, характерным для наиболее горячих белых карликов.

Желая связать изменения в ядрах планетарных туманностей с эволюцией самих газовых оболочек, исследуем соотношение между светимостью ядер и поверхностной яркостью туманностей. Наличие четкой связи между L/L_{\odot} и S_{6630} на рис. 6 не вызывает сомнений: светимость ядра быстро падает с возрастом туманности. Как было показано в нашей работе [8], это падение происходит за счет сжатия ядра, не компенсируемого его небольшим разогревом. Левая часть графика как обычно оказывается размытой, так как там сосредоточены трудные для наблюдений объекты низкой поверхностной яркости.

С помощью соотношения типа (2), задавшись характерной скоростью расширения планетарных туманностей $V_r = 20 \text{ км/с}$, можно перейти от шкалы поверхностных яркостей к шкале времени. Тот же рис. 6 показы-

вает, что падение светимости и радиуса ядер соответственно на 3 и 2 порядка величины происходит за время около 3000 лет. Затем процесс, вероятно, замедляется и приобретает квази-асимптотический характер, типичный для медленного остывания звезды, лишенной источников энергии. Чрезвычайная быстрота уменьшения светимости ядра молодой планетарной туманности более всего напоминает релаксацию звезды после перестройки, связанной с отделением оболочки.

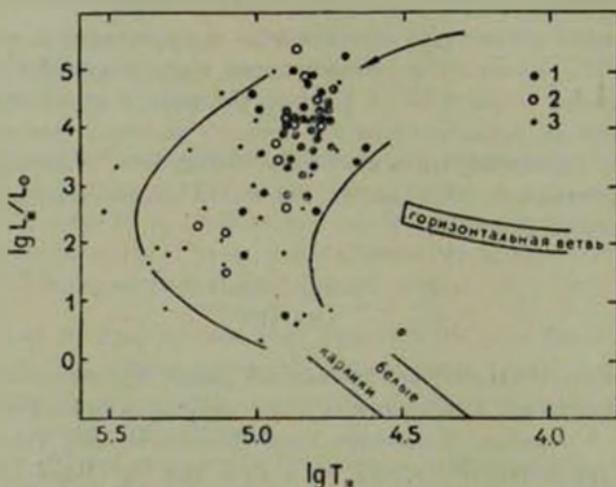


Рис. 5. Диаграмма Герцшпрунга—Ресселя для ядер планетарных туманностей.

1. Объекты, светимости которых определены по формуле (4).
2. Объекты, светимости которых определены по формуле (4), но для них в работе [8] имеются лишь неуверенные определения $T_Z(\text{He II})$.
3. Объекты, светимости которых рассчитаны по формуле (5). Стрелкой показано вероятное направление прихода звезд в область ядер планетарных туманностей.

Таким образом через 10—20 тыс. лет после возникновения наблюдаемой планетарной туманности, образуется горячая компактная звезда, по-видимому, лишенная источников ядерной энергии. Не исключено, что в результате дальнейшего сжатия звезды эти источники включатся снова, звезда вновь обратится в красный гигант и сможет вторично пройти стадию сброса массы. Напомним, что как это было показано в [13], среди 295 планетарных туманностей с изученной морфологией есть несколько, начинающих результат повторного сброса оболочки. Для более полных и надежных выводов об эволюции ядер планетарных туманностей необходимы специальные наблюдательные исследования изменений в ядрах вместе с изучением свойств ядер самых старых объектов этого класса.

5. Абсолютные значения основных физических параметров планетарных туманностей и их ядер. Знание шкалы расстояний до планетарных туманностей, вместе с рядом эмпирических зависимостей, полученных в этой и предыдущих работах данной серии, позволяет определить абсолютные значения целого ряда физических характеристик туманностей и их ядер. Они сведены нами в табл. 1, которая, однако, требует некоторых пояснений.

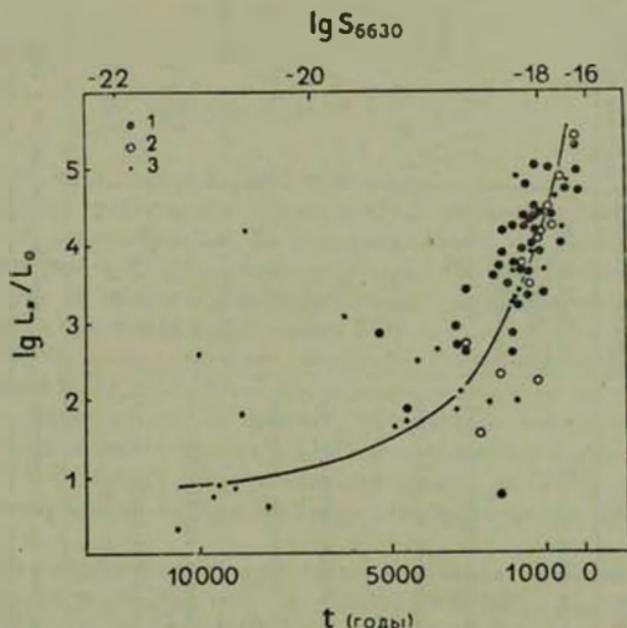


Рис. 6. Светимость ядер и эволюция газовых оболочек планетарных туманностей. Поверхностные радиояркост туманной на частоте 6630 МГц — в ваттах на $m^2 \cdot Гц$, ср. Шкала эволюционного времени t получена в предположении о равномерном радиальном расширении туманностей со скоростью 20 км/с от начального радиуса, равного 0,02 пс, характерного для самых молодых объектов с $lg S_{6630} = -16,5$ до радиуса 0,32 пс, которому соответствует предельно низкая поверхностная яркость $lg S_{6630} = -22,5$. Прочие обозначения — такие же, как на рис. 5.

Масса водородной компоненты туманности определяется совместно с «коэффициентом заполнения» δ , вводимым простым соотношением $\delta = V_n / V_{sph}$, где V_n — эффективный объем туманности, а V_{sph} — объем сферы, описанной вокруг нее. Величины M_H и δ получаются из трех независимых эмпирических соотношений:

Таблица 1

ХАРАКТЕРНЫЕ АБСОЛЮТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ОСНОВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ПЛАНЕТАРНЫХ ТУМАННОСТЕЙ И ИХ ЯДЕР

Параметр	Среднее значение	Пределы эволюционных изменений	Примечания
Масса водородной компоненты туманности — M_{H}	$(0.15 \pm 0.11) M_{\odot}$		См. текст
Полная масса туманности — M_t	$(0.26 \pm 0.19) M_{\odot}$		См. текст
Коэффициент заполнения — ζ	0.28 ± 0.02		См. текст
Внешний радиус основной структуры туманности — R_n	$1.40 \cdot 10^{17}$ см	$(0.6 - 10.0) 10^{17}$ см	При расстояниях из [1]
Время изменения радиуса туманности в указанных выше пределах — t	15 000 лет		При скорости радиального расширения $V_r = 20$ км/с
Средняя абсолютная фотографическая величина туманности — M_n (p _g)	$1^{\text{m}}8$		См. текст
Электронная плотность основной структуры туманности (в логарифмах) — $\lg n_e$ (см ⁻³)	4.5	2.2 - 6.5	См. [6]
Радиус ядра туманности — R_a	$3 \cdot 10^{10}$ см	$3 \cdot 10^{11} - 10^9$ см	См. текст
Температура ядра по методу Занстра для He II (в логарифмах) — $\lg T_Z$ (He II)	4.87	4.75 - 4.94	См. [8]
Средняя абсолютная звездная величина ядер — $M_*(B)$	$2.29 \pm 2^{\text{m}}08$		См. текст
Полная энергетическая светимость ядер — $\lg L_*/L_{\odot}$	3.0	5.25 - 0.75	См. рис. 5, 6

Примечание: В шкале поверхностных радиосферностей S_{6430} самые молодые объекты имеют $\lg S = -16.5$, а самые старые — 22.5. Левые цифры в третьем столбце таблицы относятся к молодым, а правые — к старым туманностям.

$$1) \quad \lg R_{nc} = 0.35 + \lg M = -12.51 + \frac{2}{5} \lg M_H - \\ - \frac{1}{5} \lg \dot{\nu} - \lg \tau'' - \frac{1}{5} \lg S_{6630}$$

— соотношения из работы [1], полученного при калибровке шкалы расстояний: здесь M — модуль расстояний для планетарных туманностей.

$$2) \quad \lg n_e = 1.0 - 3 \lg R_e \text{ (см.)}$$

Это соотношение нетрудно получить с помощью данных из [1] и [6].

$$3) \quad \lg S_{6630} = -26.35 + \frac{5}{3} \lg n_e$$

соотношения, полученного в нашей работе [6].

Считая все планетарные туманности прозрачными объектами одной и той же постоянной массы M_H , нетрудно связать все величины, входящие в зависимости (1—3), выразив их через M_H и $\dot{\nu}$. Необходимые для этого данные об элементарном коэффициенте свободно-свободного излучения плазмы брались из нашей работы [10].

Анализ точности показывает, что целесообразно использовать только комбинации (1—3) и (2—3); после осреднения получаем величины M_H и $\dot{\nu}$, фигурирующие в табл. 1. Заметим, что простая геометрическая модель туманности, предложенная в [14], дает близкое к полученному значению $\dot{\nu} = 0.4$. Полная масса туманности находится из M_H после учета гелиевой компоненты, которая по числу атомов составляет 0.18 от водородной.

Средняя абсолютная звездная величина туманностей вычислена через их среднюю радиосветимость L на частоте 6630 МГц, рассчитанную по формуле (1) для 197 объектов в ходе выполнения этой работы. Для преобразования L в светимость в водородной линии H_β использовалось простое теоретическое соотношение, полученное с помощью выражения (1) из работы [10] при $T_e = 1.25 \cdot 10^4 \text{K}$:

$$\lg L(H_\beta) = \lg L(6630) + 13.39. \quad (6)$$

Здесь $|L(6630)| = \text{эрг/с} \cdot \text{Гц}$, $|L(H_\beta)| = \text{эрг/с}$. Переход от $L(H_\beta)$ к видимому потоку $F(H_\beta)$ для постоянного расстояния в 10 пс — очевиден. Окончательное преобразование $F(H_\beta)$ в $M_n(pg)$ производилось по эмпирической формуле перехода, приведенной в [15].

Наконец, средняя абсолютная величина ядер планетарных туманностей в системе В рассчитывалась по известной формуле

$$M_0(B) = B_0 + 5 - 5 \lg R_{n,1} \quad (7)$$

где величины V_c , исправленные за межзвездное поглощение, взяты из табл. 3 в работе [8].

Наша сводка характерных физических параметров планетарных туманностей как галактических объектов была бы неполна без данных, позволяющих уточнить их принадлежность к тому или иному типу галактического населения. Необходимая для этого сводка содержится в табл. 2, составленной по данным обзора [16], этой работы и статей [1, 17].

Таблица 2

ПЛАНЕТАРНЫЕ ТУМАННОСТИ И ДРУГИЕ РАЗНОВИДНОСТИ
ГАЛАКТИЧЕСКОГО НАСЕЛЕНИЯ

Объекты	ρ (Loc) $M_{\odot} / 1000 \text{ пс}^3$	$Z_{0.1}$ (пс)	$\langle Z \rangle$ (пс)	$\frac{\sigma \ln \nu}{\Delta R}$	σ_Z (км/с)	Источник данных
Межзвездная среда	25	250	125			[16]
O-B5	0.11	100	50		4	[16]
B8-A5	1.7	200	70		9	[16]
F	2.5	400	130		14	[16]
gG5-8	0.2	550	180		16	[16]
dG	3.5	550	180	0.23	20	[16]
Белые карлики	(8)				(19)	[16]
Долгопериодические переменные	10^{-3}	1300		0.28	50	[16]
Планетарные туманности (без ядер)	$1.1 \cdot 10^{-1}$	210	100	0.32	10	[1, 17] эта работа

Примечания к таблице

- 1 — Тип галактических объектов.
- 2 — Местная массовая пространственная плотность объектов в солнечных массах на 1000 пс³.
- 3 — Расстояние над галактической плоскостью в пс по уровню 0.1 от максимума распределения $N = \varphi(Z)$.
- 4 — Среднее расстояние над галактической плоскостью в предположении о гауссовом распределении $N = \varphi(Z)$.
- 5 — Градиент пространственной плотности в окрестностях Солнца.
- 6 — Дисперсия скоростей по Z — координате в км/с.

Сопоставление кинематических и пространственных характеристик планетарных туманностей и других распространенных галактических объектов определенно свидетельствует о принадлежности первых к старому населению типа I. Этот вывод имеет значительный «запас прочности», так как если пространственные характеристики $Z_{0.1}$ и $\langle |Z| \rangle$ зависят от принятой шкалы расстояний, кинематический параметр σ_Z с нею не связан и почти не чувствителен к принятым компонентам галактического дви-

жения Солнца. Далекими предшественниками планетарных туманностей в современную эпоху вероятнее всего являются звезды главной последовательности классов В8—А5 и F. Представляется, что подобный вывод, как будто бы впервые полученный нами, заставит пересмотреть традиционные космогонические представления о планетарных туманностях и их ядрах.

6. *Заключение.* Итак, на основании построенной нами шкалы расстояний и данных о кинематике, мы исследовали галактическую систему планетарных туманностей. Выявлено и учтено сильное влияние наблюдательной селекции, приводящее к тому, что с увеличением расстояния мы наблюдаем все более яркие и молодые объекты. Уточнены пространственная и поверхностная плотности системы планетарных туманностей и получена новая оценка их полного числа в Галактике, равного примерно $2 \cdot 10^5$.

Исходя из эмпирических соотношений, определены средняя масса и коэффициент заполнения планетарной туманности, равные соответственно $(0.26 \pm 0.19) M_{\odot}$ и 0.28 ± 0.02 . Вычислены светимости ядер 78 планетарных туманностей и уточнено их положение на диаграмме Герцшпрунга—Рессела. Обнаружено быстрое падение светимости ядер за счет сжатия.

Пространственно-кинематические характеристики планетарных туманностей заставляют отнести их к объектам старого населения типа I. Вероятнее всего, их современными предшественниками являются звезды главной последовательности типов В8—А5—F, либо еще неотожествленные объекты той же галактической подсистемы.

Астрономический совет АН СССР

THE SYSTEM OF THE GALACTIC PLANETARY NEBULAE, THE EVOLUTION OF THEIR NUCLEI

G. S. KHROMOV

The galactic system of the planetary nebulae is studied on the basis of the distance scale introduced in a previous paper. The strong effects of the observational selection are revealed and studied. Due to these effects the planetary nebulae observed at larger distances are progressively denser and younger.

The new estimates of the nebular masses, absolute stellar magnitudes of the nebulae and their nuclei, as well as some other important physical characteristics of these objects are obtained together with the intervals of their evolutionary variations.

The position of the nuclei is specified on the Hertzsprung-Russell diagram. The discovered fast variations of the luminosity of the nuclei

7—638

after the separation of the nebula resemble the process of relaxation rather than evolution.

The new estimates of the spatial density of the planetary nebulae and that of their total number in the Galaxy are obtained. On the basis of the data on the spatial distribution and kinematics of the planetary nebulae it is concluded that these objects belong to the flattened subsystem of the old Population I. The remote ancestors of the planetary nebulae are possibly the main-sequence B8--A5--F stars.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. С. Хромов, *Астрофизика*, 15, 269, 1979.
2. G. O. Abell, *Ap. J.*, 144, 259, 1966.
3. B. L. Webster, *M. N.*, 143, 79, 1969.
4. I. J. Danziger, M. A. Dopita, T. G. Hawarden, B. L. Webster, *Anglo-Australian Observatory Preprint*, June 3, 1977.
5. H. C. Ford, *Planetary Nebulae*, Dordrecht -- Boston, 1978, p. 19.
6. Г. С. Хромов, *Астрон. ж.*, 53, 961, 1976.
7. D. Alloin, C. Gruz-Gonzalez, M. Peimbert, *Ap. J.*, 205, 74, 1976.
8. А. С. Пилютин, Г. С. Хромов, *Астрон. ж.*, 56, 759, 1979.
9. А. Аллер, У. Лиллер, *Планетарные туманности*, Мир, М., 1971.
10. Г. С. Хромов, *Астрон. ж.*, 53, 762, 1976.
11. J. B. Kaler, *Ap. J. Suppl. ser.*, 31, No. 4, 1976.
12. H. Johnson, *Comm. Lunar and Planetary Laboratory*, 3, No. 53, 73, 1965.
13. G. S. Khromov, L. Kohoutek, *Bull. Astron. Inst. Czechoslovakia*, 19, 104, 1968.
14. G. S. Khromov, L. Kohoutek, *Bull. Astron. Inst. Czechoslovakia*, 19, 81, 1968.
15. L. Perek, L. Kohoutek, *Catalogue of Galactic Planetary Nebulae*, Prague, 1967.
16. A. Blaauw, *Galactic Structure*, Chicago--London, 1965, p. 435.
17. М. Н. Куоса, Г. С. Хромов, *Астрофизика*, 15, 105, 1978.