

УДК 523.641

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ЭВОЛЮЦИИ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ЗВЕЗД ПЛАНЕТАРНЫХ ТУМАННОСТЕЙ

К.И.АЛЫШОВА

*Бакинский Государственный Университет
370145, Баку, ул.З.Халилова, 23*

Построены диаграммы, представляющие температуру как функцию ускорения силы тяжести на поверхности центральной звезды и ее радиуса. Показано, что действительно, центральные звезды планетарных туманностей эволюционируют с постоянной светимостью.

Из литературы [1] известно, что диаграмма Герцшпрунга-Рессела для центральных звезд планетарных туманностей позволяет сделать ряд важных выводов об их эволюции. В частности, оказывается, что центральные звезды на диаграмме образуют следующую эволюционную последовательность: звезда, находящаяся в правой части диаграммы, где температура мала, обычно самая молодая; она будет эволюционировать в левую сторону диаграммы в сопровождении роста ее температуры при постоянной светимости; затем звезда будет эволюционировать в сторону меньшей светимости и более низкой температуры.

Цель данной работы, во-первых, построить график, представляющий температуру как функцию ускорения силы тяжести на поверхности центральной звезды, и показать, что этот график является аналогом графика, представляющего температуру как функцию радиуса центральной звезды; во-вторых, анализом этих графиков показать, что действительно, эволюция центральных звезд планетарных туманностей происходит вдоль описанного трека.

Построение таких графиков требует знание численных значений температуры и радиуса (а также расстояний) центральных звезд планетарных туманностей. Температура центральных звезд была взята из литературы с учетом ее надежности, радиусы были определены нами [2]. При этом мы исходили из того, что для туманностей, оптически толстых за границей серии Лаймана число балмеровских квантов, излучаемых туманностью, равно полному числу испускаемых центральной звездой L_c -квантов [3]. Именно поэтому рассмотренные нами 82 туманности были выбраны так, чтобы оптическая толщина каждой из них за границей серии Лаймана значительно превосходила единицу [2]. Что касается расстояния, все расчеты производились в двух вариантах, т.е. по расстоянию, известному из литературы, и по предложенному нами методу, результаты которых приведены в [4,5,6]. Именно такой двухвариантный подход позволил судить о надежности предложенного нами метода определения расстояния, с одной стороны, и надежности оценки радиуса с другой.

В Таблице 1 дана классификация центральных звезд. В первом столбце указан номер туманности (эти номера соответствуют номерам, указанным в обобщенных таблицах (см.[4,5,6])), во втором – названия туманностей по "Новому общему каталогу" (New General Catalogue), в третьем – спектральные разновидности центральных звезд вместе с типом спектра и в последнем - класс возбуждения; в конце каждой группы дано среднее значение ускорения силы тяжести, соответствующее каждому типу спектра.

Из таблицы видно, что из центральных звезд 82 планетарных туманностей 63 принадлежат 9 спектральным разновидностям, а для остальных 19 они не известны.

Таблица 1. Классификация центральных звезд

№№	Туманность	тип спектра	Класс воз- буждения	№ №	Туманность	Тип спектра	Класс воз- буждения
1	NGC 40	WR	1-4(2)	3	NGC 1515	O	-
15	NGC 5315	"_"	"_"(4)	14	NGC4361	"_"	-
24	NGC 6751	"_"	"_"(4)	17	NGC 6210	"_"	-
57	BD +30	"_"	"_"(1)	21	NGC 6629	"_"	-
59	Hbn12	"_"	"_"(4)	29	NGC 7008	"_"	-
60	Cn 3-1	"_"	"_"(1)(2)	lg g= 4,9			
lg g= 4,5				2	NGC 1360	SdO	-
34	IC 418	Of	3-5(3)	27	NGC 6853	"_"	-
36	IC 2149	"_"	"_"(5)	45	NGC 3587	"_"	-
50	NGC 6891	"_"	"_"(5)	71	NGC 7293	"_"	-
51	NGC 6826	"_"	"_"(5)	74	A 31	"_"	-
54	IC 3568	"_"	"_"(5)	lg g= 7,1			
56	He 2-131	"_"	"_"(5)	23	NGC 6741	Слабые горя- чие звезды	7-10
lg g= 4,4				32	NGC 7027	"_"	"_"
19	NGC 6543	Of+WR	5-6	46	NGC 6302	"_"	"_"
20	NGC 6572	"_"	"_"(6)	58	Me 2-1	"_"	"_"
25	NGC 6778	"_"	"_"(5)	75	A 71	"_"	"_"
31	NGC 7026	"_"	"_"(5)	82	LT - 5	"_"	"_"
35	IC 1747	"_"	"_"(6)	lg g= 7,8			
38	IC 4997	"_"	"_"(5)	5	NGC 2392	Пекулярные	8p
39	IC 5217	"_"	"_"(6)	10	NGC 3132	"_"	6p
55	J 320	"_"	"_"(5)	22	NGC 6720	"_"	8p
69	NGC 6565	"_"	"_"(5)	43	NGC 2371	"_"	9p
lg g= 5,6				lg g= 7,0			
4	NGC 2003	OVI	6-9(8)	16	NGC 5882	?	-
7	NGC 2452	"_"	"_"(7)	30	NGC 7009	"_"	6
9	NGC 2867	"_"	"_"(8)	41	Hu 1-2	"_"	-
18	NGC 6445	"_"	"_"(8)	47	NGC 6501	"_"	-
40	J 900	"_"	"_"	48	NGC 6644	"_"	6
43	NGC 2371	"_"	"_"(6)	61	Ps -1	"_"	-
44	NGC 2448	"_"	"_"(7)	64	NGC 6072	"_"	-
52	NGC 6905	"_"	"_"(6)	65	NGC 6439	"_"	-
63	NGC 5189	"_"	"_"	66	NGC 6563	"_"	-
81	NGC 246	"_"	"_"	67	NGC 6772	"_"	-
lg g= 5,5				68	NGC 6781	"_"	-
6	NGC 2440	cont.	6-9(9)	70	NGC 6537	"_"	-
8	NGC 2792	"_"	"_"(8)	72	NGC 7354	"_"	-
11	NGC 3211	"_"	"_"(9)	73	A 24	"_"	-
12	NGC 3242	"_"	"_"	76	A 84	"_"	-
13	NGC 3918	"_"	"_"(7)	77	K 1-22	"_"	-
26	NGC 6790	"_"	"_"	78	K 2-2	"_"	-
28	NGC 6886	"_"	"_"(8)	79	Pw -1	"_"	-
33	NGC 7662	"_"	"_"(8)	80	Jn -1	"_"	-
37	IC 2165	"_"	"_"(8,9)				
42	NGC 2022	"_"	"_"				
49	NGC 6818	"_"	"_"(9)				
53	IC 351	"_"	"_"				
62	NGC 2438	"_"	"_"				
lg g= 5,9							

Для выяснения принадлежности оставшихся центральных звезд 19 туманностей,

была составлена группировка, каждая из которых соответствует определенной "средней светимости". Эта группировка показана в Таблице 2.

Таблица 2 .

Номер группы	№№	Туманность	R^*, R_0	LgT	Lgg	L^*/L_0
I	2	3	4	5	6	7
I	15	NGC 5315	0.667	4.68	4.56	1822
	20	NGC 6572	0.285	4.83	5.3	1263
	3	NGC 1535	0.218	4.86	5.54	1041
	68	NGC 6781	0.132	5.00	5.97	1344
	40	J 900	0.083	5.13	6.37	1766
	28	NGC 6886	0.051	5.21	6.80	1417
	6	NGC 2440	0.042	5.28	6.97	1774
	46	NGC 6302	0.018	5.43	7.71	1299
$L^*, L_0 = 1466$						
II	60	Cn 3-1	1.679	4.40	3.76	850
	51	NGC 6826	0.595	4.62	4.66	850
	19	NGC 6543	0.330	4.76	5.18	950
	12	NGC 3242	0.240	4.83	5.45	950
	7	NGC 2452	0.107	5.00	6.15	883
	63	NGC 5189	0.101	5.00	6.2	787
	49	NGC 6818	0.071	5.08	6.51	800
	18	NGC 6445	0.041	5.20	6.99	850
	23	NGC 6741	0.020	5.32	7.61	600
$L^*, L_0 = 836$						
III	59	Hb 12	0.349	4.66	5.13	420
	26	NGC 6790	0.114	4.90	6.10	411
	72	NGC 7354	0.111	4.94	6.12	545
	64	NGC 6072	0.080	5.00	6.41	494
	9	NGC 2867	0.070	5.03	6.52	496
$L^*, L_0 = 473$						
IV	34	IC 418	0.526	4.51	4.77	224
	1	NGC 40	0.491	4.54	4.83	279
	21	NGC 6629	0.368	4.61	5.08	295
	50	NGC 6891	0.282	4.63	5.31	210
	16	NGC 5882	0.186	4.79	5.67	370
	53	IC 351	0.123	4.82	6.04	220
	69	NGC 6565	0.142	4.83	5.91	314
	39	IC 5217	0.102	4.89	6.20	297
	52	NGC 6905	0.077	4.93	6.44	239
	5	NGC 2392	0.088	4.95	6.32	375
	8	NGC 2792	0.067	4.98	6.56	282
	41	Hu 1-2	0.064	5.00	6.60	316
	65	NGC 6439	0.056	5.04	6.72	356
	13	NGC 3918	0.046	5.05	6.89	257
	37	IC 2165	0.037	5.06	7.08	191
	67	NGC 6772	0.048	5.08	6.85	369
	62	NGC 2438	0.036	5.13	7.10	322
	47	NGC 6501	0.029	5.15	7.28	254
$L^*, L_0 = 231$						
V	36	IC 2149	0.396	4.52	5.02	143
	54	IC 3568	0.144	4.74	5.90	146
	38	IC 4997	0.141	4.76	5.91	162
	4	NGC 2003	0.084	4.83	6.36	110

Продолжение Таблицы 2.

I	2	3	4	5	6	7
V	42	NGC 2022	0.080	4.86	6.41	133
	14	NGC 4361	0.076	4.90	6.45	183
	10	NGC 3132	0.066	4.93	6.57	175
	29	NGC 7008	0.055	4.93	6.73	122
	33	NGC 7662	0.042	5.00	6.97	136
	11	NGC 3211	0.034	5.06	7.15	156
	66	NGC 6563	0.028	5.07	7.32	117
	45	NGC 3587	0.025	5.07	7.42	90
	75	A 71	0.021	5.12	7.57	100
L*, L ₀ =136						
VI	25	NGC 6778	0.075	4.74	6.46	40
	55	J 320	0.054	4.84	6.75	51
	44	NGC 2448	0.044	4.92	6.93	74
	43	NGC 2371	0.036	4.96	7.11	70
	73	A 24	0.027	5.00	7.35	54
	76	A 84	0.032	5.00	7.20	79
	2	NGC 1360	0.028	5.00	7.32	60
	77	K 1-22	0.024	5.00	7.45	44
	81	NGC 246	0.025	5.00	7.42	48
	27	NGC 6853	0.027	5.01	7.35	63
	79	Pw -1	0.021	5.02	7.57	41
	71	NGC 7293	0.018	5.06	7.70	45
L*, L ₀ =58						
VII	61	Ps -1	0.321	4.36	5.20	22
	56	He 2-131	0.254	4.40	5.40	19
	57	BD +30	0.188	4.49	5.66	25
	24	NGC 6751	0.034	4.81	7.15	16
	80	Jn -1	0.023	4.97	7.49	31
	22	NGC 6720	0.015	5.00	7.86	17
	78	K 2-2	0.014	5.05	7.92	23
	74	A 31	0.017	5.05	7.75	35
L*, L ₀ =24						

В этой таблице указанные радиусы вычислены нами по расстояниям, взятым из литературы [1].

Представляет интерес тот факт, что на логарифмическом графике "эффективная температура в функции ускорения силы тяжести на поверхности звезды" положения центральных звезд, имеющих одинаковые светимости (конечно с дисперсией относительно "средней светимости") изображаются прямыми линиями с тем же наклоном, что и наклон предела устойчивости (разумеется, с различными ординатами в начале координат).

Сказанное иллюстрировано на Рис.1. На этом рисунке рассмотренные туманности имеют те же номера, что и в Таблице 2. Но, после анализа графика на Рис.1 можно узнать об их принадлежности определенным спектральным разновидностям центральных звезд.

Такая же группировка была сделана и для центральных звезд планетарных туманностей, радиусы которых были определены по расстояниям, вычисленным по нашему методу [2] (Таблица 3).

Рис.1. Температура звезды в функции силы тяжести на поверхности звезды

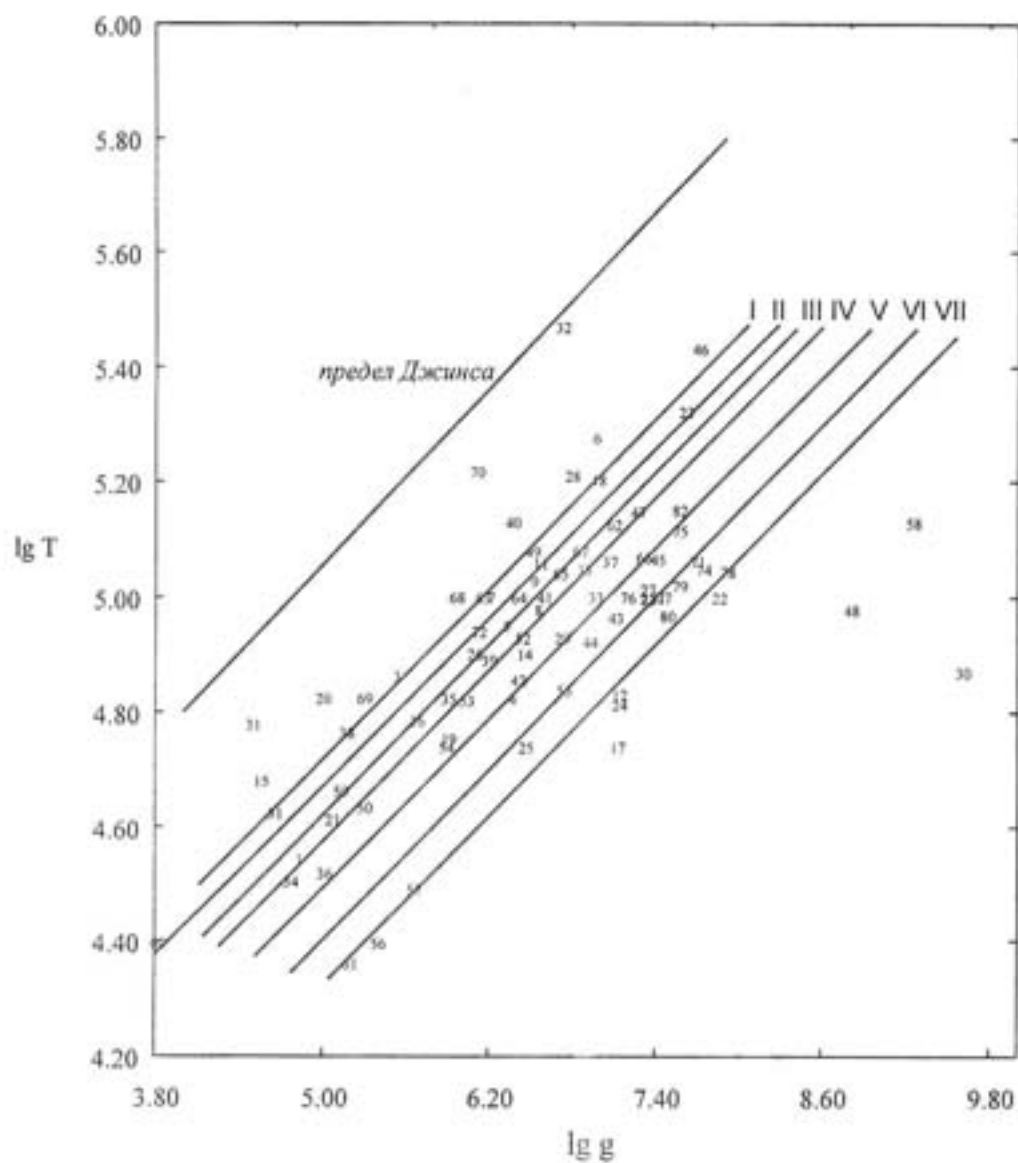


Таблица 3.

Номер группы	№	Туманность	R^*/R_0	LgT	Lgg	L^*/L_0
I	2	3	4	5	6	7
I	15	NGC 5315	0.746	4.68	4.47	2279
	31	NGC 7026	0.457	4.78	4.89	2088
	3	NGC 1515	0.218	4.86	5.54	1041
	68	NGC 6781	0.132	5	5.97	1344
	70	NGC 6537	0.06	5.22	6.66	2059
	6	NGC 2440	0.042	5.28	6.97	1774
	46	NGC 6302	0.031	5.43	7.23	3941
$L^*/L_0=2075$						

Продолжение Таблицы 3.

I	2	3	4	5	6	7
II	35	IC 1747	0.204	4.83	5.59	647
	9	NGC 2867	0.081	5.03	6.40	664
	45	NGC 3587	0.081	5.07	6.40	949
	49	NGC 6818	0.066	5.08	6.57	697
	2	3	4	5	6	7
	40	J 900	0.048	5.13	6.85	590
	18	NGC 6445	0.039	5.2	7.03	769
	28	NGC 6886	0.04	5.21	7.01	871
	23	NGC 6741	0.02	5.32	7.61	600
L*/L ₀ =723						
III	60	Cn 3-1	1.211	4.4	4.05	442
	21	NGC 6629	0.476	4.61	4.86	494
	51	NGC 6826	0.409	4.62	4.99	402
L*/L ₀ =446						
IV	1	NGC 40	0.445	4.54	4.92	229
	50	NGC 6891	0.282	4.63	5.31	210
	59	Hb 12	0.27	4.66	5.35	252
	16	NGC 5882	0.186	4.79	5.67	370
	42	NGC 2022	0.099	4.86	6.22	203
	26	NGC 6790	0.086	4.9	6.34	234
	52	NGC 6905	0.077	4.93	6.44	239
	5	NGC 2392	0.088	4.95	6.32	375
	8	NGC 2792	0.067	4.98	6.56	282
	7	NGC 2452	0.06	5	6.66	278
	64	NGC 6072	0.058	5	6.69	260
	63	NGC 5189	0.05	5	6.82	193
	65	NGC 6439	0.056	5.04	6.72	356
	13	NGC 3918	0.046	5.05	6.89	257
	71	NGC 7293	0.044	5.06	6.93	270
	37	IC 2165	0.044	5.06	6.93	270
	11	NGC 3211	0.04	5.06	7.01	216
	47	NGC 6501	0.03	5.15	7.26	267
L*/L ₀ =265						
V	34	IC 418	0.366	4.51	5.09	108
	36	IC 2149	0.347	4.52	5.13	110
	39	IC 5217	0.141	4.74	5.91	140
	54	IC 3568	0.073	4.89	6.49	152
	14	NGC 4361	0.076	4.9	6.45	183
	29	NGC 7008	0.055	4.93	6.73	122
	72	NGC 7354	0.059	4.94	6.67	154
	41	Hu 1-2	0.046	5	6.89	163
	33	NGC 7662	0.046	5	6.89	163
	66	NGC 6563	0.03	5.07	7.26	135
	67	NGC 6772	0.026	5.08	7.38	108
L*/L ₀ =140						
VI	56	He 2-131	0.377	4.4	5.06	43
	57	BD +30	0.278	4.49	5.33	55
	25	NGC 6778	0.098	4.74	6.23	68
	55	J 320	0.054	4.84	6.75	51
	44	NGC 2448	0.044	4.92	6.93	74
	43	NGC 2371	0.039	4.96	7.03	84

Продолжение Таблицы 3.

1	2	3	4	5	6	7
VI	81	NGC246	0.029	5	7.29	65
	2	NGC 1360	0.028	5	7.32	60
	27	NGC 6853	0.027	5.01	7.35	63
	82	LT-5	0.013	5.15	7.99	53
L*/L ₀ =140						
VII	61	PS-1	0.321	4.36	5.20	22
	17	NGC 6210	0.035	4.74	7.12	9
	24	NGC 6751	0.024	4.81	7.45	8
	80	Jn-1	0.01	4.97	8.21	6
	22	NGC 6720	0.013	5	7.99	13
	73	A 24	0.01	5	8.21	8
	76	A 84	0.01	5	8.21	8
	79	Pw-1	0.006	5.02	8.66	3
	78	K 2-2	0.047	5.05	6.87	6
	74	A 31	0.011	5.05	8.13	15
	75	A 71	0.005	5.12	8.82	6
	58	Me 2-1	0.003	5.13	9.26	2
L*/L ₀ =9						

Рис.2 представляет собой иллюстрацию Таблицы 3. Сравнение рисунков 1 и 2 показывает принципиальное совпадение общего результата. Это связано с тем, что расстояния, определенные нами, во многих случаях совпадают с расстояниями, полученными разными методами или отличаются от них не более, чем в 1,5 раза [5]. Здесь важно сравнение расположения центральных звезд относительно предельной кривой устойчивости Джинса. Как известно, предел устойчивости Джинса соответствует значениям эффективной температуры, при которых высокое давление излучения вследствие рассеяния на свободных электронах в точности уравнивает ускорение силы тяжести. Этот предел определяется по формуле

$$g = \left(\frac{\sigma T_{\text{eff}}^4}{c} \right) \chi_{\text{es}} \text{ [см/с}^2\text{]},$$

которая получается из условия

$$\frac{P_r}{P} = \frac{\chi_{\text{es}} H}{g c} = 1,$$

где $\frac{P_r}{P}$ – отношение давления света на сумму газового и светового давлений, $\chi_{\text{es}} = 0.20(1+x) \text{ [см}^2\text{/г]}$ – коэффициент рассеяния на электронах, x – доля водорода по массе, c – скорость света, $H = \sigma T_{\text{eff}}^4$ – полный поток излучения, σ – постоянная Стефана-Больцмана, T_{eff} – эффективная температура звезды, находящаяся на пределе устойчивости, g – ускорение силы тяжести на ее поверхности.

Принимая $x=0.80$, $c = 3 \cdot 10^{10} \text{ см/с}$, $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-5} \text{ эрг/см}^2\text{-сек}\cdot\text{К}^4$, из формулы для g после логарифмирования на пределе устойчивости Джинса получаем следующее условие

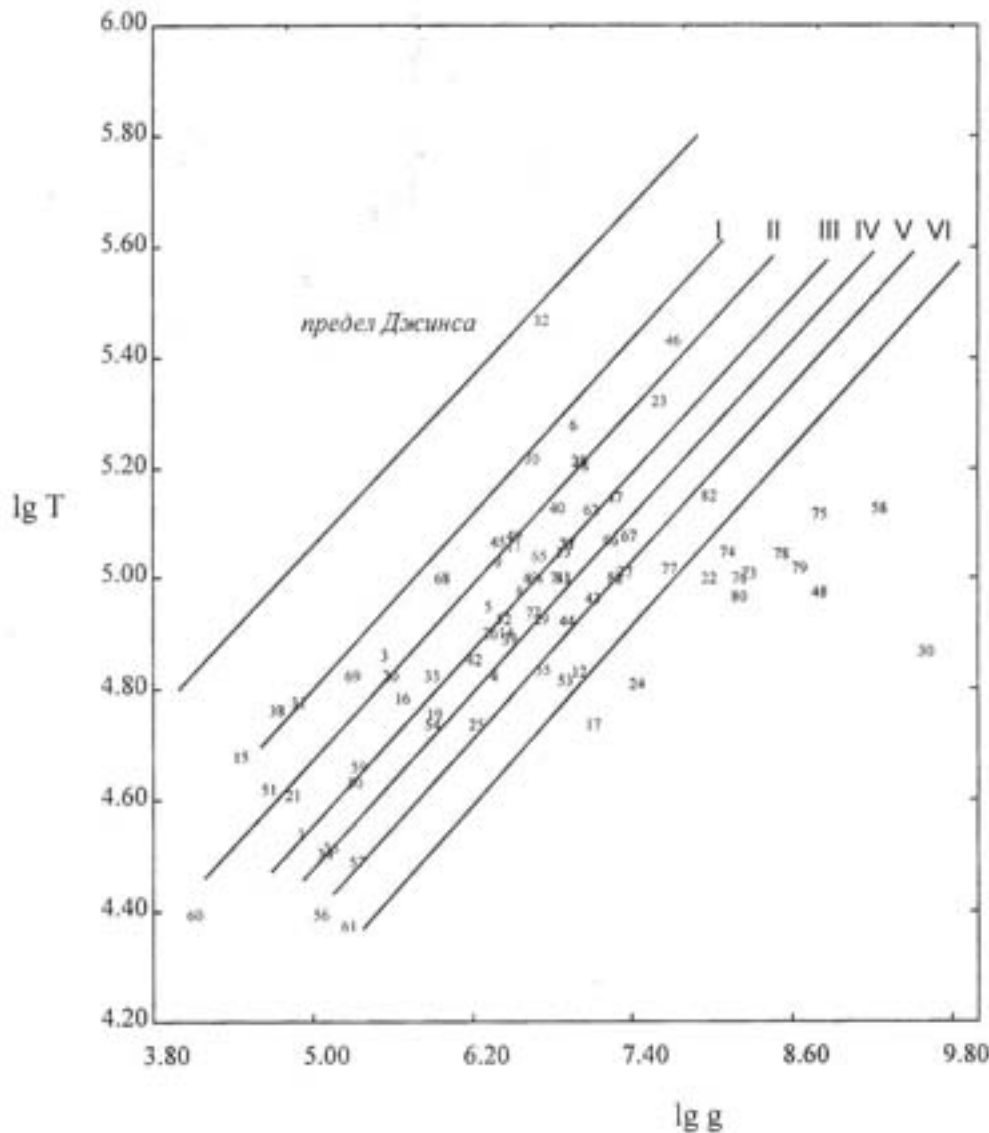
$$\lg T_{\text{eff}} = 3.8 + 0.25 \lg g.$$

Разумеется, что центральные звезды как раз должны располагаться ниже предела устойчивости Джинса, поскольку они находятся в стадии "бурной" эволюции, что наглядно видно из графиков, приведенных в данной работе. Более того, эти графики явно показывают, что центральные звезды располагаются вдоль кривой, параллельной предельной, что можно объяснить эволюцией на данном этапе развития с постоянной

светимостью. Что касается наличия серии параллельных расположений отдельных групп центральных звезд, это вполне естественно, ибо в самой начальной стадии каждая группа центральных звезд должна иметь свою начальную температуру и радиус.

Рис.2.

Температура звезды в функции силы тяжести на поверхности звезды (d-наши)



Таким образом, эволюция центральных звезд с постоянной светимостью является неоспоримым фактом. Это видно из Таблиц 2 и 3, где туманности группировались по светимостям их центральных звезд так, чтобы в каждой усредненной по светимости группе рост температуры сопровождался уменьшением радиуса. Конечно, есть небольшие отклонения, которые с большой вероятностью связаны с тем, что для всех центральных звезд планетарных туманностей масса принималась одинаковой, что не совсем верно. Это более наглядно видно из Рис.1 и 2, где положение всех звезд, имеющих одинаковые светимости, изображаются прямыми и параллельными линиями, соответствующим группировкам в Таблицах 2 и 3.

Графики "эффективная температура в функции радиуса центральной звезды" на Рис.3 и 4 еще раз подтверждают вышеуказанный результат.

Рис.3. Эффективная температура в функции радиуса центральной звезды

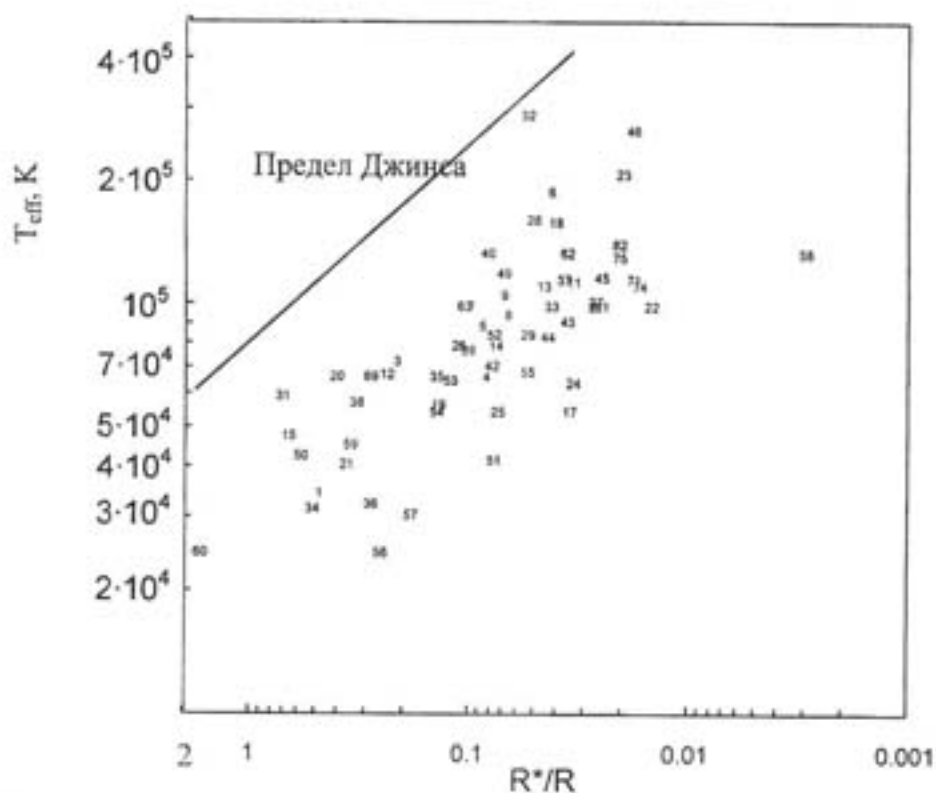
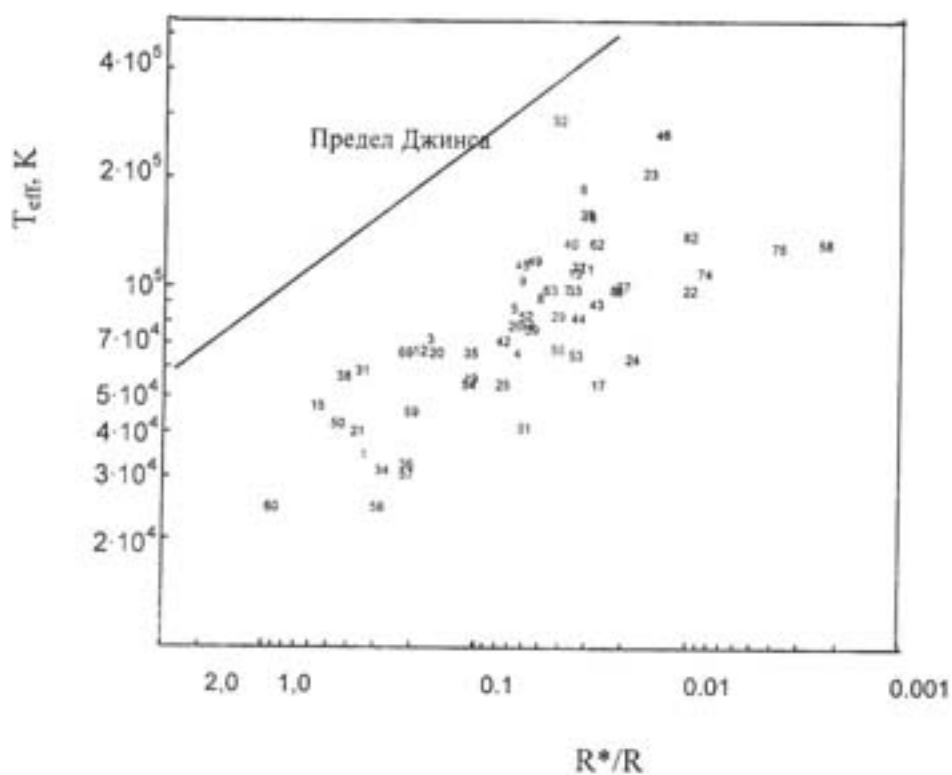


Рис. 4. Эффективная температура в функции радиуса центральной звезды (d-наши)



В заключение хотелось бы поблагодарить проф.Р.Е.Гусейнова за советы при выполнении данной работы и к.ф.м.н. Ф.К.Касумова за замечания, улучшающие изложение статьи.

1. С.Потташ, *Планетарные туманности, перевод с английского д-ра физ.-мат. наук Е.Б.Костяковой, Москва, "Мир", (1987).*
2. R.E.Guseynov, K.I.Alishova, *Fizika*, 6 №1 (2000) 60.
3. В.В.Соболев, *Курс теоретической астрофизика, Москва, Наука, (1985).*
4. Р.Э.Гусейнов, *Циркуляр ШАО, № 93 (1998) 13.*
5. Р.Э.Гусейнов, К.И.Алышова, А.В.Кулиева, *Циркуляр ШАО, № 95 (1999) 17.*
6. Р.Э.Гусейнов, К.И.Алышова, А.В.Кулиева., *Циркуляр ШАО, № 97 (1999) 6.*

PLANETAR DUMANLIQLARIN MƏRKƏZİ ULDUZLARININ TƏKAMÜLÜNÜN BƏZİ ASPEKTLƏRİ

K.I.ALIŞOVA

Mərkəzi ulduzlann temperaturunun onların səthində ağırlıq qüvvəsi təcilindən və radiusundan asılılıq diaqramları qurulmuşdur. Göstərilmişdir ki, planetar dumanlıqların mərkəzi ulduzları həqiqətən işıqlıqları sabit qalmaqla təkamül edirlər.

SOME ASPECTS OF EVOLUTION OF THE CENTRAL STARS OF PLANETARY NEBULAE

K.I.ALIŞOVA

The diagrams describing temperature as a function of acceleration of gravity on surfaces of central star and its radius were presented. The central stars of planetary nebulae were shown to evolve with the constant luminosity.

Редактор: А.Гулиев