

DOI: 10.54503/0571-7132-2025.68.1-59

ПЕРЕМЕННОСТЬ ПЛАНЕТАРНЫХ ТУМАННОСТЕЙ. РЕУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Л.Н.КОНДРАТЬЕВА, Э.К.ДЕНИСЮК, С.А.ШОМШЕКОВА,
И.В.РЕВА, А.К.АЙМАНОВА, М.А.КРУГОВ

Поступила 28 октября 2024

Принята к печати 14 февраля 2025

Представлены результаты спектроскопических и фотометрических наблюдений 14 компактных планетарных туманностей. Наблюдения проводились в Астрофизическом институте им. В.Г.Фесенкова (Казахстан) с 1973г. Цель работы - получение данных о переменности изучаемых объектов на больших временных интервалах. В качестве критерия при определении степени возбуждения газа в туманности использовались интенсивности линий [OIII], нормированные к интенсивности H β . Анализ данных, полученных на протяжении 40-50 лет, показал существенные изменения в спектрах большинства наших объектов, связанные, скорее всего, с повышением температуры центральных звезд и/или с изменением внутренней структуры оболочек.

Ключевые слова: *планетарные туманности: эволюция центральных звезд:
фотометрия: спектрофотометрия*

1. *Введение.* Планетарные туманности (ПТ) представляют собой переходную стадию эволюции звезд с массами 1-8 $M_{\odot}$ на пути от асимптотической ветви красных гигантов (AGB) к белым карликам. Этот короткий этап длится около 10 000 лет, что несравнимо с продолжительностью жизни звезд. Тем не менее, он играет важную роль в звездной эволюции. На стадии ПТ происходят существенные изменения физических параметров звезды (массы, радиуса, светимости, химического состава), и она приобретает качественно иной статус. ПТ обогащают межзвездную среду тяжелыми элементами. Они являются эффективным инструментом изучения физических свойств ионизованного газа, физических и динамических процессов, сопровождающих взаимодействие компонентов в двойных звездных системах. Активные исследования этих объектов выявили многочисленные проявления спектральной и фотометрической переменности. Основными источниками фотометрической переменности могут быть пульсации центральных звезд [1]. Этой проблеме посвящена серия статей Hrivnak et al., например, [2]. Иногда колебания блеска обусловлены вращением звезды или переменностью звездного ветра [1,3,4]. По мере исследования планетарных туманностей увеличивается

количество объектов с двойными центральными звездами. Обмен массами между компонентами двойного ядра также может влиять на блеск объекта [5-8]. В спектрах нескольких планетарных туманностей были обнаружены быстрые изменения интенсивностей эмиссионных линий [9-15]. Логично предположить, что определяющим фактором при этом может быть повышение эффективной температуры центральной звезды. Для объяснения наблюдаемой переменности потребовались новые модели ускоренной эволюции центральных звезд [16]. В некоторых случаях причиной спектральной переменности могут быть изменения внутренней структуры туманности, как-то выброс из ядра вторичной оболочки или отдельных сгустков, фрагментов материи, которые способны влиять на ионизирующее излучение центральной звезды [10,15,17].

2. Наблюдения и обработка. В Астрофизическом институте им. В.Г.Фесенкова (АФИФ) изучение планетарных туманностей начиналось в 70-х годах прошлого века. Использовался телескоп АЗТ-8 (70 см), расположенный в обсерватории Каменское Плато. Первые спектральные и фотометрические наблюдения проводились на спектрографе оригинальной конструкции, изготовленном в АФИФ. На выходе спектрографа был установлен трехкаскадный ЭОП УМ-92, изображения регистрировались на астрономическую фотопленку А600 и Кодак [18]. Спектрограф был оснащен набором дифракционных решеток и объективов камеры для работы в разных участках доступного спектрального диапазона, который составлял $3700\text{--}8000\text{ \AA}$. На каждую пленку (24 кадра) впечатывались изображения платинового ослабителя, ступеньки которого имеют напыление с известными значениями пропускания. Соотношение между оптической плотностью изображений ослабителя и интенсивностью прошедшего света использовалось для построения характеристической кривой. На пленке регистрировалось изображение с экрана ЭОПа, поэтому одна кривая использовалась для всего спектра. Все негативы оцифровывались на автоматическом микроденситометре. Авторами данной статьи был разработан пакет программ на языке QuickC для последующей обработки: построения характеристической кривой, преобразования оптических плотностей в спектре в интенсивности, определения интенсивностей и потоков в эмиссионных линиях. Для шкалы длин волн использовался спектр лампы СГ-3С, который впечатывался на каждом кадре выше и ниже спектра объекта. Зависимость спектральной чувствительности аппаратуры от длины волны определялась по изображениям спектров ярких стандартных звезд с известным распределением энергии. Для спектров ПТ и стандартов вводились поправки, учитывающие атмосферное поглощение и спектральную чувствительность аппаратуры. Спектрограммы получались с линейной дисперсией от 30 до $150\text{ \AA}/\text{мм}$. Используемые фотоэмульсии имели разрешающую спо-

способность ~ 110 -145 пар линий/мм. Среднее разрешение спектрограмм составляло ~ 4000 -800 в области $H\alpha$ и 3000-600 в области $H\beta$.

В 2001г. была проведена модернизация спектрографа, ЭОП был заменен на ПЗС-камеру ST-8 (1530x1020), а в 2017г. ее сменила ПЗС-камера STT-3200 (2184x1472). Спектрограммы с дисперсией 0.5 и 1.0 Å /пиксель получались в двух диапазонах длин волн: 4400-5400 Å и 6200-7200 Å. При ширине входной щели спектрографа 7"-10" типичное разрешение R составляло 1400-900 в области $H\alpha$ и 1000-700 в области $H\beta$.

Дополнительные спектральные наблюдения ПТ выполнялись на 1-м телескопе фирмы Карл Цейсс-Йена, установленном в обсерватории Ассы-Тургень АФИФ. Использовался спектрограф UAGS фирмы Карл Цейс-Йена, который предназначен для получения спектров средней и низкой дисперсии. Благодаря светосильным зеркальным камерам Шмидта, он особенно эффективен при наблюдениях слабых объектов в широком диапазоне длин волн. На выходе спектрографа была установлена ПЗС камера ST-8. Ширина входной щели составляла 3" и 10". Спектрограммы с дисперсией 0.7 Å /пиксель получались в тех же диапазонах длин волн, что и при наблюдениях на телескопе АЗТ-8. Данные всех наблюдений обрабатывались стандартным способом, с использованием файлов Dark и Flat Field. Спектр лампы СГ-3С с эмиссионными линиями He, Ne и Ag служил для калибровки спектров по длинам волн. Все результаты корректировались с учетом атмосферного поглощения. Для калибровки потоков излучения использовались спектры стандартных звезд из каталога [19], получаемые непосредственно до или после спектра объекта.

До 2016г. фотометрические наблюдения проводились с помощью этих же спектрографов (АЗТ-8 и 1-м телескоп). Они были оснащены специальными оптическими системами, проецирующими участок неба на ПЗС-камеру, и наборами фильтров BVR Джонсона. С 2016г. оптическая фотометрия проводится на втором 1-м телескопе, расположенном в Тянь-Шаньской обсерватории АФИФ. Он оснащен ПЗС-камерой Alta F16M (4096x4096.9 мкм) и набором фильтров BVRc. Поле зрения 20'x20', угловой масштаб 0".38 пиксель⁻¹. В качестве стандартов для дифференциальной фотометрии использовались соседние звезды поля с известными звездными величинами BVRc. Дополнительные наблюдения 40 стандартных звезд из [20] были проведены для получения уравнений перевода инструментальных значений звездных величин в стандартную систему Джонсона.

В данной статье представлены результаты наших наблюдений планетарных туманностей малых угловых размеров. Цель работы - изучение многолетней переменности объектов.

3. Результаты наблюдений. В процессе обработки наблюдательных данных получены абсолютные потоки излучения в эмиссионных линиях.

Критериями степени возбуждения газа в оболочках являются относительные интенсивности эмиссионных линий [OIII] 4959, 5007 Å. В табл.1 приведены данные для объектов низкого возбуждения $I(5007) \leq 0.1 \times I(\text{H}\beta)$. В первом столбце даны обозначения по каталогу [19], названия объекта, а также коэффициенты межзвездного поглощения $C(\text{H}\beta)$. Во втором столбце приведены даты наблюдений. Абсолютные потоки в линиях $\text{H}\beta$ в $\text{эрг см}^{-2} \text{с}^{-1}$ приведены в третьем столбце. Последующие столбцы содержат относительные интенсивности наиболее ярких эмиссионных линий, исправленные за межзвездное поглощение и нормированные

Таблица 1

**АБСОЛЮТНЫЕ ПОТОКИ И ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ
ИНТЕНСИВНОСТИ ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ В
СПЕКТРАХ ОБЪЕКТОВ НИЗКОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ**

Объект	Дата наблюдений	F(H β) 4861	[OIII] 5007	H α 6563	[NII] 6583	HeI 6678	[SII] 6717	[SII] 6731	HeI 7065	[ArIII] 7136	[OI] 7324
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PK232-4.7 M1-11 $C(\text{H}\beta) = 1.6$	1971-1973	(1.3 $\pm$ 0.3)E-12		285 $\pm$ 35	196 $\pm$ 36	1.1 $\pm$ 0.4	0.4 $\pm$ 0.1	0.9 $\pm$ 0.2	-	-	-
	Jan 16, 1975	-	8.7 $\pm$ 1.8	296 $\pm$ 32	192 $\pm$ 36	0.9 $\pm$ 0.3	0.4 $\pm$ 0.1	0.8 $\pm$ 0.2	-	-	-
	Oct, 1978 [25]	-	7.0 $\pm$ 1.0	294 $\pm$ 29	225 $\pm$ 22	1.4 $\pm$ 0.2	-	-	2.3 $\pm$ 0.3	1.3 $\pm$ 0.2	-
	Dec, 1982 [26]	(2.1 $\pm$ 0.2)E-12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Apr, 1984 [27]	(1.5 $\pm$ 0.2)E-12	10 $\pm$ 1.1	300 $\pm$ 30	195 $\pm$ 20	-	-	-	-	-	-
	Jan, 1986 [28]	-	7.9 $\pm$ 1.0	285 $\pm$ 30	188 $\pm$ 18	0.9 $\pm$ 0.2	0.6 $\pm$ 0.1	1.0 $\pm$ 0.2	-	-	-
	Mar 06, 1989	-	11 $\pm$ 1.1	286 $\pm$ 30	190 $\pm$ 20	1.0 $\pm$ 0.2	0.5 $\pm$ 0.1	1.0 $\pm$ 0.2	-	1.9 $\pm$ 0.3	-
	Feb 2007 [29]	(1.6 $\pm$ 0.2)E-12	16 $\pm$ 1.2	280 $\pm$ 30	198 $\pm$ 22	1.2 $\pm$ 0.3	0.4 $\pm$ 0.1	0.9 $\pm$ 0.2	2.0 $\pm$ 0.3	2.1 $\pm$ 0.3	20 $\pm$ 2.5
	Nov 01, 2010	-	-	286 $\pm$ 30	200 $\pm$ 30	1.4 $\pm$ 0.3	0.6 $\pm$ 0.1	1.2 $\pm$ 0.3	-	-	-
	Nov 2013 [30]	(1.5 $\pm$ 0.2)E-12	23 $\pm$ 2	-	-	-	-	-	-	-	-
	Jan 15, 2016	(1.6 $\pm$ 0.2)E-12	19 $\pm$ 2	290 $\pm$ 30	203 $\pm$ 30	1.2 $\pm$ 0.3	-	-	-	-	-
	Feb 27, 2022	(1.8 $\pm$ 0.2)E-12	21 $\pm$ 2	-	-	-	-	-	-	-	-
	Feb 28, 2023	(1.9 $\pm$ 0.2)E-12	20 $\pm$ 2	296 $\pm$ 30	186 $\pm$ 20	1.4 $\pm$ 0.3	0.6 $\pm$ 0.1	1.2 $\pm$ 0.2	-	1.8 $\pm$ 0.4	-
	Feb 06, 2024	(2.1 $\pm$ 0.2)E-12	21 $\pm$ 2	297 $\pm$ 30	200 $\pm$ 20	1.7 $\pm$ 0.3	-	-	3.7 $\pm$ 0.8	3.0 $\pm$ 0.6	16 $\pm$ 1.9
PK 235-3.1 M1-12 $C(\text{H}\beta) = 0.95$	Oct 1978 [25]	-	10 $\pm$ 1	300 $\pm$ 30	145 $\pm$ 18	0.6 $\pm$ 0.1	0.6 $\pm$ 0.1	1.5 $\pm$ 0.3	1.7 $\pm$ 0.3	1.2 $\pm$ 0.3	15 $\pm$ 2.0
	Feb 15, 1979	(1.8 $\pm$ 0.2)E-12	10 $\pm$ 1	302 $\pm$ 30	175 $\pm$ 18	1.7 $\pm$ 0.3	2.4 $\pm$ 0.3	3.7 $\pm$ 0.7	2.5 $\pm$ 0.5	-	22 $\pm$ 2.8
	1992-1993 [30]	(2.2 $\pm$ 0.3)E-12	19 $\pm$ 2	-	138 $\pm$ 16	1.0 $\pm$ 0.2	1.1 $\pm$ 0.2	2.4 $\pm$ 0.5	1.9 $\pm$ 0.4	2.0 $\pm$ 0.4	24 $\pm$ 2.9
	Feb 2007 [29]	(1.9 $\pm$ 0.2)E-12	23 $\pm$ 2	286 $\pm$ 28	150 $\pm$ 16	1.2 $\pm$ 0.2	1.2 $\pm$ 0.2	6.1 $\pm$ 0.9	6.0 $\pm$ 1.0	6.1 $\pm$ 0.2	15 $\pm$ 2.0
	Dec 2013 [12]	(3.7 $\pm$ 0.4)E-12	-	311 $\pm$ 30	145 $\pm$ 14	0.6 $\pm$ 0.1	0.6 $\pm$ 0.1	1.5 $\pm$ 0.3	1.7 $\pm$ 0.3	1.2 $\pm$ 0.3	24 $\pm$ 2.6
	Dec 05, 2018	(1.8 $\pm$ 0.2)E-12	27 $\pm$ 3	299 $\pm$ 30	156 $\pm$ 15	1.2 $\pm$ 0.2	1.1 $\pm$ 0.3	4.7 $\pm$ 0.8	-	-	-
	Feb 14, 2021	-	-	290 $\pm$ 30	159 $\pm$ 15	1.1 $\pm$ 0.2	1.9 $\pm$ 0.4	3.4 $\pm$ 0.7	-	-	-
	Feb 27, 2022	(1.8 $\pm$ 0.2)E-12	30 $\pm$ 3	-	-	-	-	-	-	-	-
	Mar 28, 2023	(2.1 $\pm$ 0.3)E-12	30 $\pm$ 3	-	-	-	-	-	-	-	-
PK 15-3.1 M1-39 $C(\text{H}\beta) = 2.4$	1972 [23]	(8.8 $\pm$ 1.6)E-14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1988-1990 [30]	(9.1 $\pm$ 0.9)E-14	46 $\pm$ 5	343 $\pm$ 32	380 $\pm$ 37	-	5.3 $\pm$ 0.7	10 $\pm$ 1.1	-	-	-
	Jun 2011 [31]	(9.5 $\pm$ 1.0)E-14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	May 28, 2019	(1.9 $\pm$ 0.2)E-13	51 $\pm$ 5	300 $\pm$ 30	345 $\pm$ 35	3.9 $\pm$ 0.5	4.4 $\pm$ 0.6	7.4 $\pm$ 0.9	5.6 $\pm$ 1.0	9.1 $\pm$ 1.6	-
	Jun 27, 2020	(2.0 $\pm$ 0.2)E-13	56 $\pm$ 6	299 $\pm$ 30	334 $\pm$ 35	3.9 $\pm$ 0.5	6.2 $\pm$ 0.8	11 $\pm$ 1.5	-	-	-
	Jun 22, 2022	-	-	-	-	-	6.2 $\pm$ 0.7	11 $\pm$ 1.5	-	-	-
	Jul 12, 2023	(2.0 $\pm$ 0.2)E-13	59 $\pm$ 6	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 1 (Продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PK 16-1.1 M1-46 C(H β) = 0.9	Aug 12, 1983	-	-	-	-	9.0 $\pm$ 1.0	8.0 $\pm$ 0.9	13 $\pm$ 1.8	4.1 $\pm$ 0.7	15 $\pm$ 2.0	23 $\pm$ 3.5
	1989 [22]	(9.6 $\pm$ 1.0)E-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aug 1993 [32]	(1.6 $\pm$ 0.2)E-12	37 $\pm$ 4	277 $\pm$ 27	135 $\pm$ 14	3.7 $\pm$ 0.4	6.4 $\pm$ 0.8	1.1 $\pm$ 0.20	5.0 $\pm$ 0.7	23 $\pm$ 3.0	-
	Jun 2003 [33]	(2.2 $\pm$ 0.2)E-12	71 $\pm$ 7	359 $\pm$ 35	151 $\pm$ 15	8.9 $\pm$ 0.9	11 $\pm$ 1.2	8.0 $\pm$ 1.2	11 $\pm$ 1.5	20 $\pm$ 3.6	-
	Jun 17, 2015	(2.5 $\pm$ 0.3)E-12	60 $\pm$ 6	300 $\pm$ 30	132 $\pm$ 14	4.8 $\pm$ 0.6	5.1 $\pm$ 0.6	9.0 $\pm$ 2.0	5.3 $\pm$ 0.8	24 $\pm$ 3.8	-
	Jun 28, 2016	(2.6 $\pm$ 0.3)E-12	61 $\pm$ 6	300 $\pm$ 30	136 $\pm$ 14	5.6 $\pm$ 0.6	6.2 $\pm$ 0.8	8.0 $\pm$ 1.4	6.8 $\pm$ 1.5	25 $\pm$ 4.2	-
	May 22, 2017	(2.8 $\pm$ 0.3)E-12	63 $\pm$ 7	300 $\pm$ 30	136 $\pm$ 14	4.4 $\pm$ 0.7	4.8 $\pm$ 0.6	7.6 $\pm$ 1.3	4.2 $\pm$ 0.7	19 $\pm$ 3.0	-
	Aug 06, 2019	(2.8 $\pm$ 0.3)E-12	-	-	-	-	4.6 $\pm$ 0.6	-	3.5 $\pm$ 0.6	16 $\pm$ 2.7	-
	Sep 20, 2020	(1.4 $\pm$ 0.2)E-12	61 $\pm$ 7	-	-	-	-	-	-	-	-
PK 43+3.1 M1-65 C(H β) = 1.18	Jul 12, 2023	(1.6 $\pm$ 0.2)E-12	62 $\pm$ 7	-	-	-	-	8.0 $\pm$ 1.2	-	-	-
	Aug 15, 2023	-	-	300 $\pm$ 30	134 $\pm$ 14	4.5 $\pm$ 0.6	4.6 $\pm$ 0.6	13 $\pm$ 2.2	3.1 $\pm$ 0.7	15 $\pm$ 2.0	-
	1971-1975	(3.8 $\pm$ 0.7)E-13	16 $\pm$ 3	294 $\pm$ 35	-	-	-	-	-	-	-
	Aug 11, 1988	(7.1 $\pm$ 0.9)E-13	15 $\pm$ 2	300 $\pm$ 30	-	-	-	-	-	-	-
	Jul 07, 2005	-	-	298 $\pm$ 30	-	3.2 $\pm$ 0.4	5.3 $\pm$ 0.7	10 $\pm$ 1.5	2.5 $\pm$ 0.5	4.5 $\pm$ 0.8	15 $\pm$ 2.5
	Jul 19, 2005	-	-	300 $\pm$ 30	-	-	-	-	-	4.3 $\pm$ 0.6	13 $\pm$ 2.5
	Sep 20, 2006	-	-	300 $\pm$ 30	-	-	-	-	-	-	-
	Jun 21, 2007	(4.3E $\pm$ 0.7)E-13	16 $\pm$ 2	289 $\pm$ 30	-	3.9 $\pm$ 0.4	5.8 $\pm$ 0.7	11 $\pm$ 1.3	-	-	-
	Jun 21, 2012	(4.3 $\pm$ 0.5)E-13	16 $\pm$ 2	300 $\pm$ 30	-	3.0 $\pm$ 0.4	5.0 $\pm$ 0.6	9.3 $\pm$ 1.5	-	-	-
PK 38+12.1 Cn3-1 C(H β) = 0.36	Jun 30, 2014	(4.6 $\pm$ 0.6)E-13	17 $\pm$ 2	300 $\pm$ 30	-	3.1 $\pm$ 0.4	5.6 $\pm$ 0.6	9.6 $\pm$ 1.3	-	-	-
	May 18, 2015	(4.7 $\pm$ 0.7)E-13	20 $\pm$ 2	300 $\pm$ 30	-	3.5 $\pm$ 0.4	5.5 $\pm$ 0.6	10 $\pm$ 1.2	2.8 $\pm$ 0.5	-	-
	Jun 28, 2016	(5.5 $\pm$ 0.9)E-13	20 $\pm$ 2	300 $\pm$ 30	-	3.3 $\pm$ 0.5	5.4 $\pm$ 0.4	10 $\pm$ 1.2	-	-	-
	Jul 22, 2017	(5.6 $\pm$ 0.7)E-13	-	300 $\pm$ 30	-	-	-	-	-	-	-
	Jun 05, 2018	(5.6 $\pm$ 0.7)E-13	22 $\pm$ 2	299 $\pm$ 30	-	3.5 $\pm$ 0.5	4.8 $\pm$ 0.6	9.0 $\pm$ 1.0	5.0 $\pm$ 0.6	-	-
	Aug 05, 2018	-	-	300 $\pm$ 30	130 $\pm$ 15	3.8 $\pm$ 0.5	5.4 $\pm$ 0.6	9.2 $\pm$ 1.0	3.9 $\pm$ 0.5	3.4 $\pm$ 0.5	14 $\pm$ 1.6
	May 28, 2019	-	-	300 $\pm$ 30	136 $\pm$ 15	3.9 $\pm$ 0.5	4.8 $\pm$ 0.6	8.2 $\pm$ 0.9	2.9 $\pm$ 0.5	2.9 $\pm$ 0.5	15 $\pm$ 1.8
	May 23, 2020	(5.8 $\pm$ 0.6)E-13	21 $\pm$ 2	-	-	-	-	-	-	-	-
	Jul 15, 2022	(5.9 $\pm$ 0.6)E-13	21 $\pm$ 2	-	-	-	-	-	-	-	-
PK 55-2.3 He1-2 C(H β) = 1.3	Jun 15, 2023	(5.8 $\pm$ 0.6)E-13	21 $\pm$ 2	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aug 14, 2023	(5.8 $\pm$ 0.6)E-13	22 $\pm$ 2	300 $\pm$ 30	134 $\pm$ 15	4.4 $\pm$ 0.4	5.2 $\pm$ 0.6	9.4 $\pm$ 1.0	3.6 $\pm$ 0.5	4.3 $\pm$ 0.6	15 $\pm$ 1.8
	1970-1973	-	-	-	-	2.7 $\pm$ 0.6	5.0 $\pm$ 0.9	11 $\pm$ 2.8	3.6 $\pm$ 0.7	5.0 $\pm$ 0.9	-
	1970-1973 [34]	(1.2 $\pm$ 0.1)E-11	16	289 $\pm$ 30	193 $\pm$ 20	1.0 $\pm$ 0.1	5.0 $\pm$ 0.6	12 $\pm$ 1.4	-	-	-
	1977 [36]	(8.9 $\pm$ 0.1)E-12	17	289 $\pm$ 30	195 $\pm$ 20	1.4 $\pm$ 0.2	4.4 $\pm$ 0.6	6.7 $\pm$ 0.9	-	-	-
	Jun 1988 [12]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aug 2001 [35]	(1.1 $\pm$ 0.1)E-11	21	-	-	-	-	-	-	-	-
	Jul 21, 2006	-	-	-	-	2.1 $\pm$ 0.3	6.1 $\pm$ 0.7	12 $\pm$ 1.5	2.8 $\pm$ 0.5	4.6 $\pm$ 0.6	-
	Jun 17, 2007	-	-	-	-	1.9 $\pm$ 0.3	5.8 $\pm$ 0.7	12 $\pm$ 1.5	3.7 $\pm$ 0.5	-	-
PK 55-2.3 He1-2 C(H β) = 1.3	Jul 10, 2008	(1.1 $\pm$ 0.2)E-11	23	299 $\pm$ 30	196 $\pm$ 25	2.5 $\pm$ 0.3	6.5 $\pm$ 0.8	12 $\pm$ 1.5	3.5 $\pm$ 0.5	-	12.5 $\pm$ 1.6
	Aug 06, 2018	(1.1 $\pm$ 0.1)E-11	24	300 $\pm$ 30	198 $\pm$ 20	2.4 $\pm$ 0.3	5.9 $\pm$ 0.7	12 $\pm$ 1.5	3.2 $\pm$ 0.5	5.8 $\pm$ 0.7	11.9 $\pm$ 1.6
	Jul 05, 2020	(1.2 $\pm$ 0.1)E-11	25	300 $\pm$ 30	195 $\pm$ 20	2.2 $\pm$ 0.3	5.9 $\pm$ 0.7	10 $\pm$ 1.3	3.2 $\pm$ 0.5	5.7 $\pm$ 0.7	11.5 $\pm$ 1.6
	Jul 15, 2022	(1.1 $\pm$ 0.1)E-11	25	298 $\pm$ 30	184 $\pm$ 20	2.2 $\pm$ 0.3	5.2 $\pm$ 0.7	10 $\pm$ 1.3	2.8 $\pm$ 0.4	4.6 $\pm$ 0.6	11.5
	Jun 15, 2023	(1.1 $\pm$ 0.1)E-11	26	-	-	-	-	-	-	-	-
	May 26, 2024	-	-	300 $\pm$ 30	193 $\pm$ 20	1.8 $\pm$ 0.3	5.3 $\pm$ 0.6	11 $\pm$ 1.5	2.4 $\pm$ 0.4	5.8 $\pm$ 0.7	-
	1971-1973	-	-	298 $\pm$ 35	187 $\pm$ 30	-	14 $\pm$ 4.2	23 $\pm$ 4.5	-	-	-
	1991 [22]	(9.1 $\pm$ 1.0)E-14	-	324 $\pm$ 32	206 $\pm$ 20	-	8.3 $\pm$ 0.9	31 $\pm$ 3.2	-	-	-
	Jul 07, 2005	(1.0 $\pm$ 0.2)E-13	-	300 $\pm$ 30	207 $\pm$ 22	-	18 $\pm$ 2.5	28 $\pm$ 3.0	-	-	-
PK 55-2.3 He1-2 C(H β) = 1.3	Jul 21, 2006	(9.9 $\pm$ 1.2)E-14	-	290 $\pm$ 30	210 $\pm$ 22	-	17 $\pm$ 3.0	29 $\pm$ 3.2	-	-	-
	Aug 13, 2007	(1.2 $\pm$ 0.1)E-13	-	290 $\pm$ 30	189 $\pm$ 20	-	17 $\pm$ 2.5	32 $\pm$ 3.8	-	-	-
	May 18, 2015	(1.5 $\pm$ 0.2)E-13	-	300 $\pm$ 30	187 $\pm$ 20	-	18 $\pm$ 2.8	33 $\pm$ 3.8	-	-	-
	Jul 20, 2016	(1.5 $\pm$ 0.2)E-13	-	289 $\pm$ 30	200 $\pm$ 20	-	19 $\pm$ 2.0	27 $\pm$ 3.5	-	-	-

Таблица 1 (Окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Jul 22, 2018	(1.4±0.2)E-13	-	300±30	197±20	-	12±1.7	25±3.3	-	-	-
	Aug19, 2020	(1.4±0.2)E-13	-	300±30	225±25	-	14±1.7	26±3.3	-	-	-
	Aug 16, 2023	-	-	-	-	-	11±1.5	24±3.4	-	-	-
PK 89-2.1 M1-77 C(H β) = 1.05	Jul 21, 1976	(1.2±0.2)E-13	-	299±35	180±20	-	-	-	-	-	-
	1983 [36]	(2.4±0.3)E-13	-	288±28	72±15	-	9±1.0	10±1.1	-	-	-
	1984-1987 [37]	(1.3±0.2)E-13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Nov 25, 1995	-	-	-	-	-	11±1.5	16±2.5	-	-	-
	Sep 18, 2004	(4.4±0.6)E-13	-	299±30	130±15	-	4.8±0.7	6.2±2.0	-	-	-
	Oct 11, 2005	-	-	-	-	-	5.0±0.7	9.8±1.0	-	-	-
	Aug 09, 2007	(5.4±0.7)E-13	-	299±30	107±13	-	5.3±0.6	9.5±1.6	-	-	-
	Sep 01, 2011	(8.1±0.9)E-13	-	300±30	116±13	-	4.6±0.5	7.0±1.0	-	-	-
	Jun 21, 2012	-	-	300±30	98±12	-	4.6±0.5	6.7±0.9	-	-	-
	Aug 17, 2015	-	-	300±30	96±10	-	4.6±0.6	6.7±0.9	-	-	-
	Jun 09, 2016	(9.3±1.2)E-13	-	300±30	95±10	-	3.9±0.5	7.0±0.9	-	-	-
	Sep 16, 2017	(9.5±0.1)E-13	-	300±30	96±10	-	4.1±0.5	6.2±0.8	-	-	-
	Jul 18, 2018	(8.6±0.9)E-13	-	300±30	96±10	-	4.0±0.6	6.1±0.7	-	-	-
	Oct 19, 2019	(9.6±1.1)E-13	-	299±30	94±10	-	4.2±0.5	7.3±0.9	-	-	-
	Oct 24, 2019	(9.5±1.1)E-13	-	299±30	95±10	-	-	-	-	-	-
	Jul 27, 2020	(9.5±1.0)E-13	-	300±30	94±10	-	3.6±0.5	5.6±0.9	-	-	-
	Jul 31, 2021	(9.6±1.1)E-13	-	299±30	93±10	-	4.9±0.6	7.3±0.9	-	-	-
	Jul 25, 2023	-	-	300±30	94±10	-	3.8±0.5	6.2±0.8	-	-	-
	Oct 10, 2023	-	-	300±30	93±10	-	3.6±0.5	5.7±0.8	-	-	-

к интенсивности линии H β . В табл.2 приведены спектральные данные для объектов умеренного и высокого возбуждения в том же формате, что и в табл.1. Фотометрические данные представлены в табл.3.

Таблица 2

АБСОЛЮТНЫЕ ПОТОКИ И ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ В СПЕКТРАХ ОБЪЕКТОВ УМЕРЕННОГО И ВЫСОКОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Объект	Дата наблюдений	F(H β) 4861	HeII 4685	[OIII] 5007	H α 6563	[NII] 6583	HeI 6678	[SII] 6717	[SII] 6731	[HeI] 7065	[ArIII] 7135	[OI] 7324
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
PK 211-03.1 M1-6 C(H β) = 1.8	Mar 03, 1975	(6.3±1.0)E-13	-	93±13	285±30	124±14	2.1±0.4	1.9±0.2	4.1±0.6	-	-	-
	Jan 1986 [12]	-	-	122±13	285±30	140±15	-	1.1±0.1	2.5±0.3	-	-	-
	Dec 17, 1989	-	-	107±12	290±30	131±15	2.3±0.4	1.5±0.2	2.1±0.4	-	-	-
	Mar 1996 [38]	(6.2±0.7)E-13	-	97±10	285±30	135±14	-	5.0±0.5	7.2±0.8	-	-	-
	Feb 2007 [29]	(4.6±0.6)E-13	-	113±11	298±30	136±14	2.7±0.3	1.2±0.2	2.6±0.4	5.4±0.6	-	-
	Jan 12, 2016	(5.1±0.6)E-13	2.8±0.4	128±14	289±32	141±16	3.1±0.5	1.2±0.2	2.5±0.4	-	7.2±0.8	-
	Feb 19, 2018	(4.9±0.6)E-13	-	129±14	292±35	142±15	3.0±0.5	-	-	6.8±0.8	4.9±0.7	-
	Dec 04, 2018	(5.1±0.6)E-13	-	128±13	278±35	140±15	-	-	-	6.8±0.8	5.0±0.6	-

Таблица 2 (Продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Dec 17, 2020	(4.8±0.6)E-13	-	134±14	300±35	146±16	3.7±0.5	1.0±0.2	2.8±0.4	6.5±0.8	5.6±0.6	-
	Nov 21, 2021		-	135±14	300±35	141±15	3.2±0.5	1.0±0.2	2.5±0.4	5.5±0.7	4.8±0.5	33±5
	Jan 18, 2022	(4.9±0.6)E-13	4.0±0.6	138±14	298±33	136±15	2.8±0.4	1.2±0.2	2.6±0.4	5.1±0.7	4.7±0.6	31±4
	Mar 21, 2023	(4.6±0.6)E-13	-	-	300±32	141±15	2.7±0.4	1.0±0.2	2.5±0.3	5.1±0.6	5.6±0.7	34±4
	Feb 09, 2024	(4.4±0.5)E-13	2.7±0.6	142±15	299±34	147±17	2.9±0.5	1.2±0.2	2.9±0.4	5.3±0.6	5.2±0.6	29±4
PK 212+4.3 M1-9 C(Hβ)=0.46	1971-1975	(8.2±1.2)E-13	-	-	300±35	68±9	3.7±0.5	2.4±0.5	4.1±0.5	5.5±0.7	5.9±0.7	-
	Dec 1982 [12]	(2.1±0.2)E-12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1991 [22]	(2.2±0.2)E-12	-	530±60	-	-	-	-	-	-	6.8±0.8	-
	Jan-Jul 2007 [29]	(2.2±0.3)E-12	-	-	-	53±6	3.7±0.5	1.4±0.2	2.6±0.3	7.1±0.8	-	10±2
	Jan 2011 [39]	(2.6±0.3)E-12	-	440±48	286±39	52±5	-	-	-	-	-	-
	Dec 05, 2018	(2.5±0.3)E-12	-	497±50	300±30	54±7	2.8±0.5	-	2.3±0.4	7.0±0.8	-	-
	Jan 11, 2021	-	-	-	300±30	52±6	3.3±0.5	-	-	-	5.3±0.6	-
	Feb 18, 2022	-	-	-	300±30	54±6	3.1±0.5	1.4±0.3	2.2±0.3	5.6±0.7	5.9±0.7	-
PK 184-2.1 M1-5 C(Hβ) = 2.5	1966-1968 [34]	(8.9±0.9)E-13	-	-	310±31	-	-	-	-	-	-	-
	Apr 1982 [12]	(9.1±0.9)E-13	-	338±40	286±29	100±14	2.0±0.3	-	-	5.3±0.6	4.3±0.5	-
	Mar 1997 [40]	(9.1±0.9)E-13	-	-	299±30	90±10	4.1±0.4	1.2±0.2	2.2±0.3	9.3±1.0	8.4±0.9	-
	Aug 2001 [41]	-	-	-	300±30	90±10	3.8±0.4	1.0±0.2	2.2±0.3	9.3±1.0	8.4±0.9	-
	Feb 07, 2008	-	-	-	300±30	85±10	-	-	-	-	-	-
	Feb 03, 2016	(8.6±0.9)E-13	-	339±40	300±30	89±10	3.0±0.5	0.9±0.2	1.8±0.2	7.2±0.9	6.3±0.8	-
	Dec 04, 2018	(8.6±0.9)E-13	-	350±40	298±35	84±9	3.1±0.5	1.2±0.2	2.1±0.3	6.9±0.8	6.4±0.7	-
	Jan 15, 2021	-	-	-	300±30	80±9	2.7±0.5	-	-	7.3±0.8	5.8±0.7	-
	Feb 01, 2022	(8.6±0.9)E-13	-	344±40	310±36	79±9	4.2±0.6	1.0±0.2	2.0±0.3	6.8±0.8	-	17±3
	Dec 20, 2022	-	-	-	298±35	78±8	3.8±0.5	0.7±0.1	2.0±0.3	6.7±0.7	6.2±0.7	16±3
	Nov 21, 2023	-	-	-	300±35	82±9	3.7±0.6	1.3±0.2	2.1±0.3	6.8±0.7	5.6±0.7	15±2
	Jan 03, 2024	-	-	-	299±35	86±9	3.4±0.5	1.0±0.2	2.0±0.3	6.8±0.7	6.0±0.8	16±2
PK 118-8.1 Vyl-1 C(Hβ)=0.95	1982-1983 [12]	(3.2±0.4)E-12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1984-1985 [28]	(3.0±0.3)E-12	-	600±65	-	-	-	-	-	-	-	-
	1992 [22]	(2.9±0.3)E-12	-	800±90	-	-	-	-	-	-	-	-
	Sep 25, 2006	(2.4±0.3)E-12	-	760±85	-	-	-	-	-	-	-	-
	Oct 04, 2007	(2.5±0.3)E-12	-	740±80	300±35	2.9±0.4	4.0±0.6	-	-	-	-	-
	Oct 06, 2013	-	-	-	290±35	3.2±0.5	4.0±0.6	-	-	2.5±0.5	7.6±0.9	-
	Dec 15, 2015	(2.7±0.3)E-12	-	740±80	300±35	3.7±0.6	3.7±0.6	-	-	-	-	-
	Nov 01, 2016	(2.7±0.3)E-12	-	750±80	298±35	2.9±0.5	4.0±0.6	-	-	-	-	-
	Sep 15, 2017	(2.9±0.3)E-12	-	740±80	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aug 16, 2022	-	-	-	298±30	3.5±0.5	3.4±0.5	-	-	2.5±0.3	6.7±0.8	-
PK 19.4-5.3 M1-61 C(Hβ)=1.24	Apr 1985 [22]	-	2.8±0.3	850±90	310±30	81±8	5.1±0.6	1.8±0.2	3.6±0.4	3.6±0.4	22±2	18±2
	Jun 1994 [42]	(1.8±0.2)E-12	-	844±85	300±30	-	3.6±0.4	1.2±0.3	2.4±0.2	2.4±0.3	14±2	12±2
	Jun 2010 [43]	(2.4±0.3)E-12	5.6±0.6	896±90	285±29	57±6	4.6±0.5	1.4±0.1	3.1±0.3	3.1±0.4	22±2	10±1
	Aug 15, 2018	(3.0±0.3)E-12	3.0±0.4	1050±100	300±30	70±7	5.3±0.7	1.5±0.2	4.1±0.5	4.1±0.5	31±3	18±2
	Jun 21, 2020	(3.1±0.4)E-12	-	1100	300±30	68±7	4.9±0.6	1.6±0.2	4.1±0.6	4.1±0.6	24±3	-
	Jul 20, 2022	-	-	-	300±30	68±8	4.9±0.6	1.6±0.2	4.2±0.5	4.2±0.5	21±3	11±1
	Aug 15, 2023	(3.0±0.3)E-12	-	1100±100	300±30	68±7	5.0±0.5	1.9±0.2	5.8±0.6	5.8±0.6	25±3	18±2
PK 119-6.1 Hu1-1 C(Hβ)=0.67	1973-1975		20±5	1100±150	289±30	230±35	2.8±0.7	23±4	25±4	2.1±0.6	14±3	-
	1978 [34]	(2.0±0.2)E-12	15±2	1195±120	279±28	280±30	3.5±0.4	28±3	39±4	2.2±0.6	8.4±1	19±2
	1979 [44]	(1.9±0.2)E-12	18±2	1174±120	281±28	224±23	3.1±0.3	20±2	26±3	3.9±0.5	20±2	-
	1982 [27]	(2.3±0.3)E-12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Aug 1986 [22]	(2.6±0.3)E-12	21±2	1251±120	289±30	194±20	-	-	-	-	-	-
	Sep 21, 2007	-	19±4	1215±120	300±30	281±28	3.4±0.4	25±3	35±5	2.9±0.4	14±2	-

Таблица 2 (Окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Oct 06, 2015	-	17±4	1219±120	300±30	318±35	3.5±0.4	33±4	41±6	2.8±0.3	17±2	-
	Dec 20, 2016	-	17±4	1202±120	300±30	299±32	4.1±0.5	31±3	38±5	3.5±0.4	15±2	-
	Sep 15, 2017	(1.8±0.2)E-12	-	-	-	-	4.1±0.5	32±4	40±5	3.9±0.4	17±2	-
	Aug 16, 2023	-	-	-	300±30	299±30	4.0±0.5	32±4	39±5	3.1±0.4	17±2	-
PK000.1+17.2 PC 12 C(Hβ)=0.20	1971 [23]	(1.3±0.3)E-12	-	280±30	-	-	-	-	-	-	-	-
	1993 [12]	(2.7±0.3)E-12	-	293±30	300±30	96±10	8.3±0.9	5.0±0.6	9.6±2	7.1±0.8	12±2	-
	1996 [30]	(1.5±0.2)E-12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Jun 17, 2015	(1.4±0.2)E-12	-	293±30	300±30	100±12	3.9±0.5	4.2±0.5	8.0±2	5.2±0.7	10±2	-
	Jun 29, 2016	(1.5±0.2)E-12	-	310±35	300±30	105±12	4.1±0.5	4.7±0.5	8.6±2	5.6±0.7	9.2±1	-

Таблица 3

ОЦЕНКИ БЛЕСКА ПЛАНЕТАРНЫХ ТУМАННОСТЕЙ
В ФИЛЬТРАХ BVRc

Объект	Дата наблюдений	B	V	Rc
1	2	3	4	5
PK211-03.1 M1-6	Nov 1985 [13]	15.7±0.05	-	12.2±0.04
	Dec 1990 [22]	15.68±0.04	-	12.36±0.04
	Jan 2014 [45]	16.28±0.04	15.14±0.04	13.59±0.04
	Jan 05, 2019	16.27±0.02	15.25±0.01	13.40±0.02
	Sep 25, 2019	16.25±0.01	15.19±0.01	13.40±0.02
	Jan 26, 2022	16.24±0.01	15.24±0.01	13.39±0.01
	Feb 22, 2022	16.26±0.01	15.24±0.01	13.39±0.01
	Mar 01, 2023	16.27±0.01	15.24±0.01	13.39±0.01
	Nov 13, 2023	16.24±0.01	15.21±0.01	13.38±0.04
	Jan 03, 2024	16.28±0.02	15.24±0.01	13.39±0.01
PK 232-4.1 M1-11	1984-1985 [27]	14.81±0.01	14.07±0.02	-
	1984-1987 [37]	14.7±0.10	13.83±0.10	-
	Jan 04, 2021	14.56±0.01	13.77±0.08	-
	Jan 26, 2022	14.53±0.02	13.73±0.07	12.51±0.01
	Feb 22, 2022	14.54±0.01	13.77±0.04	12.53±0.01
	Jan 24, 2024	14.53±0.01	13.73±0.04	12.52±0.01
PK 235-3.1 M1-12	Jul 1985 [38]	14.44±0.04	14.08±0.04	-
	Jan 17, 2021	14.00±0.01	13.95±0.08	12.56±0.01
	Jan 26, 2023	14.0±0.01	13.90±0.08	12.49±0.01
PK 15+3.1 M1-39	May 07, 2018	17.62±0.01	16.4±0.01	13.74±0.02
	Jul 27, 2019	17.85±0.02	16.47±0.01	13.70±0.02
	Jun19, 2020	17.61±0.02	16.38±0.02	13.73±0.01
PK 16-1.1 M1-46	1984-1987 [37]	13.14±0.05	12.83±0.05	-
	Jul 18, 2015	13.28±0.02	12.85±0.01	12.82±0.01
	Jul 15, 2019	13.36±0.01	12.89±0.01	12.06±0.04
	Jun 19, 2020	13.30±0.02	12.91±0.01	12.12±0.04

Таблица 3 (Окончание)

1	2	3	4	5
PK 43+3.1 M1-65	Jul 1985 [18]	15.06±0.08	14.24±0.02	-
	Jul 30, 2014	15.20±0.01	14.58±0.01	-
	May 15, 2015	15.12±0.09	14.50±0.01	-
	Sep 2016 [27]	15.06±0.07	14.41±0.02	-
	May 07, 2018	15.09±0.01	14.21±0.03	-
	Jul 19, 2019	15.14±0.01	14.22±0.02	-
	May 25, 2020	15.08±0.01	14.21±0.03	-
	Jun 14, 2021	15.03±0.04	14.19±0.04	-
	Aug 10, 2021	15.07±0.01	14.18±0.01	-
	Aug 09, 2023	15.00±0.01	14.12±0.01	-
PK 38+12.1 Cn3-1	1984-1987 [37]	12.30±0.05	12.49±0.05	-
	Jun 09, 2016	12.38±0.02	12.16±0.02	11.33±0.01
	May 07, 2018	12.30±0.01	12.24±0.01	11.01±0.01
	Aug 05, 2019	12.28±0.01	12.25±0.01	11.02±0.01
	Apr 01, 2024	12.26±0.01	12.21±0.01	11.00±0.01
PK 55+2.3 He1-2	1984-1987 [37]	17.70±0.35	16.70±0.35	-
	Aug 12, 2007	16.70±0.05	15.80±0.05	14.19±0.04
	Sep 14, 2018	16.60±0.02	15.58±0.02	14.18±0.01
	Jun 04, 2019	16.58±0.02	15.53±0.01	14.15±0.02
	Sep 22, 2019	16.56±0.01	15.53±0.02	14.13±0.02
PK 89-2.1 M1-77	1983 [36]	12.75±0.05	12.15±0.01	-
	1984-1985 [37]	12.70±0.05	12.10±0.01	-
	Aug 09, 2007	12.94±0.03	12.15±0.01	11.29±0.01
	Jun 21, 2012	12.65±0.02	11.83±0.02	11.17±0.01
	Oct 03, 2013	12.84±0.01	12.11±0.01	11.34±0.01
	Sep 01, 2014	12.96±0.01	12.23±0.01	11.40±0.01
	Jul 15, 2015	12.91±0.01	12.23±0.01	11.38±0.01
	Jul 08, 2018	12.81±0.01	12.10±0.01	-

4. *Анализ данных по отдельным объектам.* На рис.1-3 представлены абсолютные потоки в эмиссионных линиях H β и интенсивности эмиссионных линий [OIII] 5007 Å, нормированные к $I(\text{H}\beta)=100$. Объекты в таблице расположены в порядке возрастания степени возбуждения их спектров.

Планетарные туманности M1-11 и M1-12 относятся к объектам с наименьшей степенью возбуждения. В спектрах центральных звезд присутствуют слабые эмиссионные линии. Температуры центральных звезд определены по методу Занстра: $T(\text{H})=28000-29000$ К, электронная плотность газа в туманностях, $n_e[\text{SII}]=(2.7-2.9)\cdot 10^4$ см. За время наблюдений произошло значительное (в 3-4 раза) усиление линий [OIII]. Значения $F(\text{H}\beta)$, полученные в ранний период разными авторами, имеют большой разброс (рис.1) и тенденция их изменения плохо просматривается. Наблюдается небольшое усиление линий

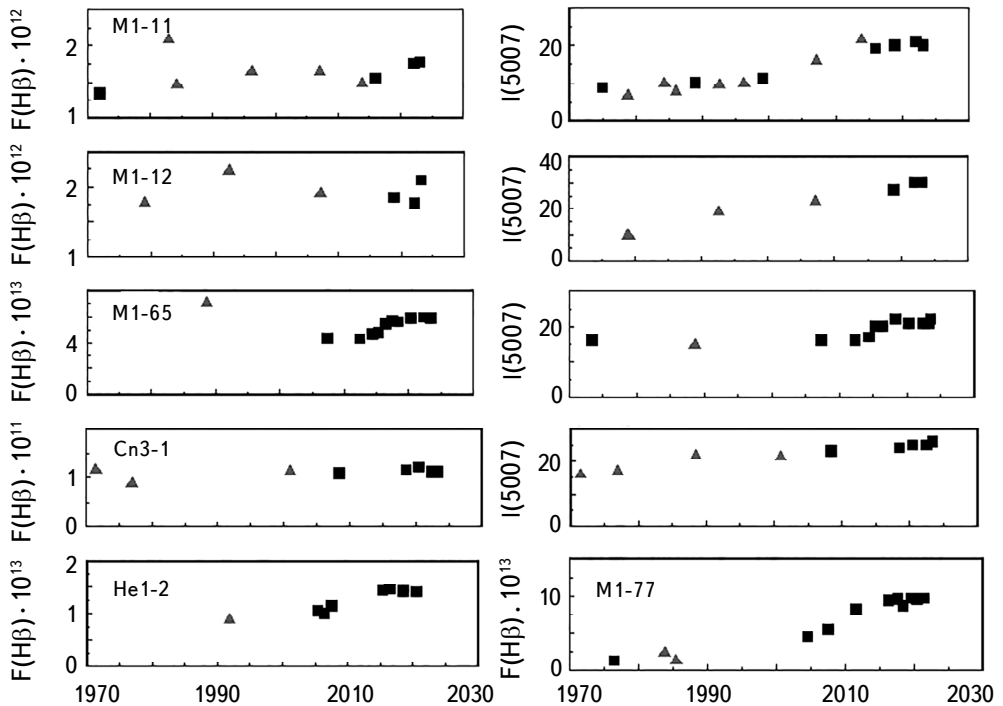


Рис.1. Абсолютные потоки излучения в линии $H\beta$ и относительные интенсивности линии $[OIII]$, $5007 \text{ \AA}$ в спектрах объектов низкого возбуждения. Ось X - дата наблюдений в годах, ось Y - поток в шкале эрг/см²с. Результаты, полученные в АФИФ, обозначены квадратами. Треугольниками обозначены данные других авторов.

HeI, в то же время эмиссионные линии $[NII]$ и $[SII]$ оставались стабильными в пределах ошибок измерений.

Планетарные туманности M1-65 и Cn3-1. Эти объекты также имеют спектры низкого возбуждения. Температуры центральных звезд равны $T(HI) = 35000 \text{ K}$ и 28000 K , соответственно. В спектрах M1-65 наблюдается усиление потоков излучения во всех эмиссионных линиях и уверенное увеличение относительных интенсивностей линий $[OIII]$. Значения $F(H\beta)$ в спектре Cn 3-1 имеют большой разброс (рис.1) и тенденция их изменений не просматривается. В обзоре [12] не обнаружено изменений относительных интенсивностей линий $[OIII]$. Однако их постепенное увеличение (от 20 до 30) заметно на рис1.

Объект M1-77 принадлежит к типу "cool variable central star" В спектре присутствуют эмиссионные линии HI, $[OII]$, $[NII]$, $[SII]$, наложенные на сильный континуум. Линии HeI и $[OIII]$ отсутствуют из-за низкой температуры центральной звезды ($18000-20000\text{K}$). Наблюдается значительное увеличение потоков излучения. За 40 лет наблюдений (1976-2016гг.) поток излучения в линии $H\beta$ увеличился в 8 раз и стабилизировался лишь в последние годы.

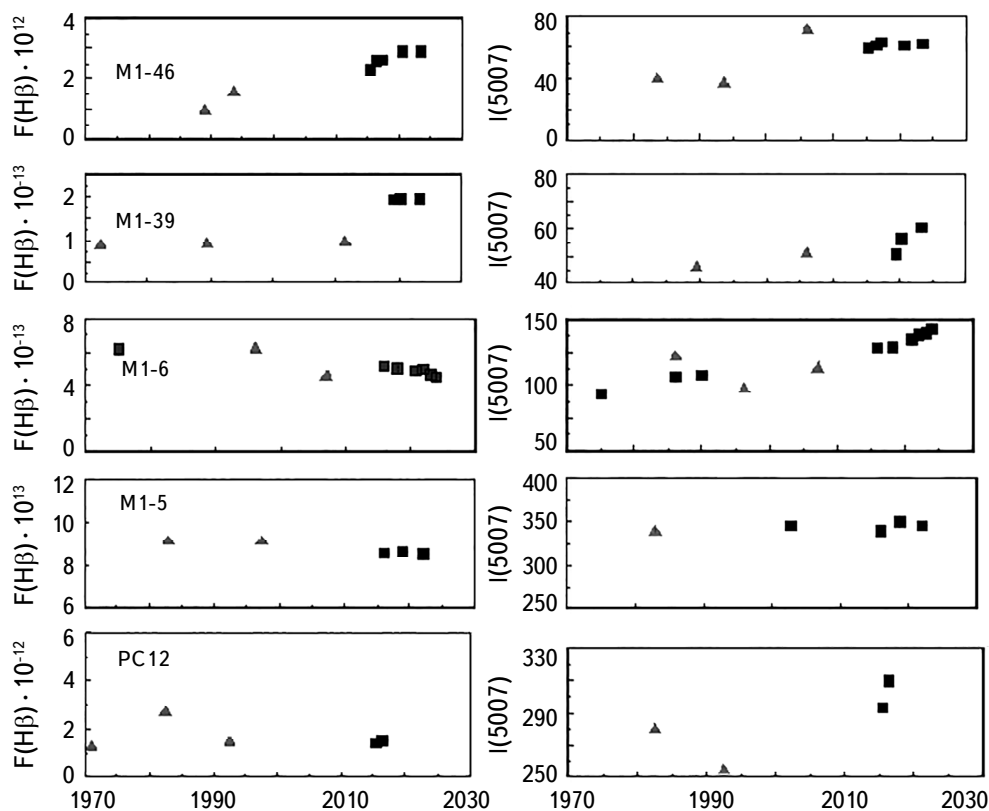


Рис.2. Абсолютные потоки излучения в линии H β и относительные интенсивности линии [OIII], 5007 Å в спектрах объектов умеренного возбуждения. Ось X - дата наблюдений в годах, ось Y - поток в шкале эрг/см²с. Обозначения такие же как на рис.1.

Скорее всего, увеличение потоков было вызвано постепенным расширением зоны ионизованного газа. Процесс прекратился, когда оболочка стала полностью ионизованной.

Планетарная туманность He1-2. Ее спектр аналогичен спектру предыдущего объекта. Температура центральной звезды $T(HI) = 20000$ К. Эмиссионные линии [OIII] отсутствуют. Изменения других эмиссионных линий (в 1.5 раза за период 1991-2018гг.) не столь впечатляющие, если сравнивать с M1-77. Последние годы, начиная с 2015г., потоки оставались неизменными.

Планетарные туманности M1-39 и M1-46. Отчетливое усиление потоков в линии H β видно на рис.2. В то же время интенсивности почти всех эмиссионных линий, нормированных к H β , меняются незначительно. Иными словами изменения потоков в этих линиях происходят синхронно с потоками в H β , только линии [OIII] усиливаются быстрее.

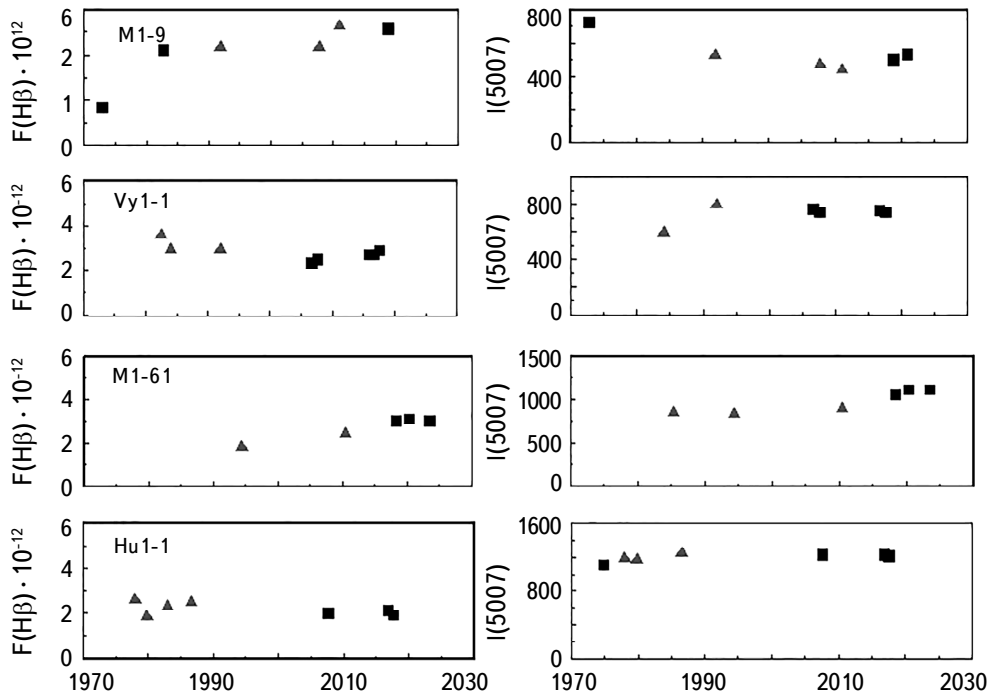


Рис.3. Абсолютные потоки излучения в линии $H\beta$ и относительные интенсивности линии [OIII], $5007 \text{ \AA}$ в спектрах объектов высокого возбуждения. Ось X - дата наблюдений в годах, ось Y - поток в шкале $\text{эрг/см}^2\text{с}$. Обозначения такие же как на рис.1.

Планетарная туманность M1-6. Этот объект также относится к объектам низкого возбуждения. Центральная звезда имеет в спектре слабые эмиссионные линии [21]. Наблюдения M1-6 начались в 70-х годах прошлого столетия. На протяжении более 40 лет регистрировалось непрерывное увеличение относительных интенсивностей линий [OIII]. В 2014-2016гг. произошло ослабление всех эмиссионных линий, в том числе линий водорода (рис.2) и небольшое понижение блеска объекта (табл.3).

Планетарные туманности M1-61 и M1-9. В спектре M1-61 наблюдаются небольшие изменения потока в линии $H\beta$ и интенсивности $5007 \text{ \AA}$, нормированной к $H\beta$. В спектре M1-9 потоки в линии $H\beta$ незначительно усиливаются, а относительные интенсивности остальных эмиссионных линий не меняются.

Спектры остальных объектов не показали никаких изменений на протяжении всего периода наблюдений.

5. Обсуждение. Основные характеристики объектов приведены в табл.4: угловые размеры из работы [22], расстояния [23], электронные плотности,

рассчитанные по отношениям интенсивностей линий $[SII] 6717, 6731 \text{ \AA}$. Эффективные температуры центральных звезд оценивались методом Занстра для линий $H\beta$ и эмпирическим методом Калера [24]. Содержание остальных столбцов относится к моделям и будет описано ниже. В спектрах большинства объектов наблюдается постепенное увеличение интенсивности линии $5007 \text{ \AA}$ (рис.1-3). Большой разброс данных, взятых из литературы, может быть связан с различной шириной входной щели (от $2''$ до $8''$), используемой разными

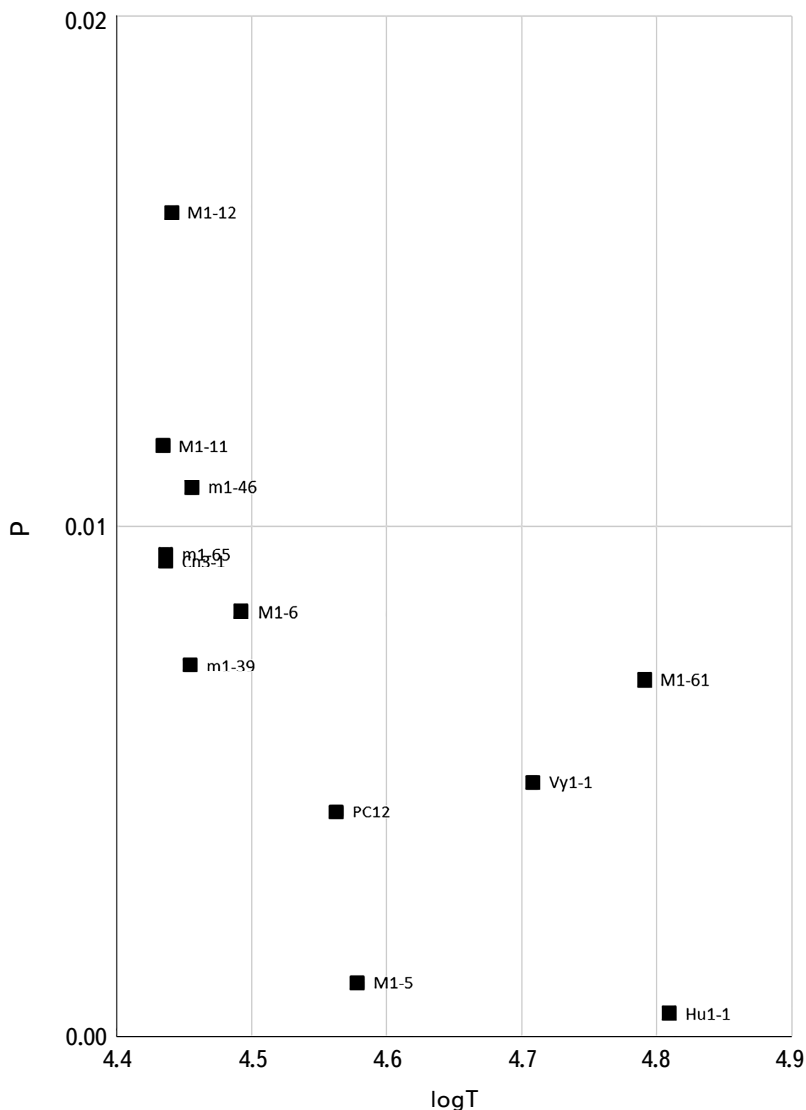


Рис.4. Скорость изменения степени возбуждения туманностей в зависимости от температуры центральной звезды. Ось X - параметр P , ось Y - $\log T$.

наблюдателями. Мы рассчитали параметр P - скорость изменения нормированной интенсивности линии $5007 \text{ \AA}$ в объектах различной степени возбуждения.

$$P = \frac{I(5007)_n - I(5007)_0}{I(5007)_{aver} \Delta t},$$

где $I(5007)_n$ и $I(5007)_0$ - интенсивности линии $5007 \text{ \AA}$ в конце и в начале наблюдений, $I(5007)_{aver}$ - среднее значение интенсивности за период наблюдений, Δt - количество лет. На рис.4 ось Y представляет параметр P , ось X - $\log(T)$. Максимальные изменения параметра P , т.е. степени возбуждения газа, происходят в объектах с низкими температурами центральных звезд - группа объектов, расположенных в верхнем левом углу графика (рис.4). Это наиболее молодые планетарные туманности в нашей группе с размерами меньше 0.07 пк , вероятно, они эволюционируют быстрее по сравнению с более возрастными представителями этого класса. Мы воспользовались результатами расчетов работы [16]. Модели для наших объектов выбирались по начальным и конечным значениям температуры звезды и времени наблюдений в годах (7-9 столбцы табл.4). В 10-м столбце приводятся соответствующие временные промежутки, рассчитанные в моделях. Их номера указаны в столбце 11. Для наших наиболее молодых объектов: M1-5, M1-6, M1-11, M1-12, M1-39, подошли модели с начальной массой звезды $1.0-1.25 M_{\odot}$. Еще одна молодая туманность M1-61 при той же скорости изменения степени возбуждения достигла более высоких

Таблица 4

ХАРАКТЕРИСТИКИ ИССЛЕДУЕМЫХ ПЛАНЕТАРНЫХ ТУМАННОСТЕЙ

Объект	2R (")	D (kpc)	2R (pc)	Ne[SII]	T(HI) 10^{-4}	T_0 [OIII] 10^{-4}	T_1 [OIII] 10^{-4}	Δt_{obs} (years)	Δt_{omod} (years)	Model [16]	Age year
M1-6	5	2.65	0.06	$(3.5 \pm 0.5) \times 10^4$	3.3 ± 0.06	2.95 ± 0.07	3.10 ± 0.07	35	30	№2 $M = 1.25 M_{\odot}$	525
M1-11	St	2.12	<0.01	$(2.7 \pm 0.3) \times 10^4$	2.7 ± 0.01	2.69 ± 0.07	2.71 ± 0.07	32	32	№3 $M = 1.25 M_{\odot}$	2160
M1-12	St	3.75	<0.01	$(2.9 \pm 0.7) \times 10^4$	2.7 ± 0.03	2.71 ± 0.03	2.75 ± 0.03	45	43	№3 $M = 1.25 M_{\odot}$	2170
M1-39	5	2.69	0.07	$(2.9 \pm 0.2) \times 10^4$	2.8 ± 0.03	2.80 ± 0.03	2.84 ± 0.03	34	36	№3 $M = 1.25 M_{\odot}$	2250
M1-46	11	3.78	0.20	$(3.3 \pm 0.2) \times 10^4$	2.8 ± 0.03	2.78 ± 0.02	2.85 ± 0.02	31	34	№1 $M = 1 M_{\odot}$	1000
M1-65	3.6	6.54	0.11	$(2.1 \pm 0.1) \times 10^4$	3.0 ± 0.05	2.71 ± 0.01	2.73 ± 0.01	50	39	№4 $M = 1 M_{\odot}$	5060
Cn3-1	4.5	3.58	0.08	$(2.4 \pm 0.1) \times 10^4$	2.7 ± 0.01	2.71 ± 0.01	2.73 ± 0.01	51	63	№4 $M = 1 M_{\odot}$	5060
He1-2	5.4	6.17	0.16	$(2.2 \pm 0.5) \times 10^4$	2.0 ± 0.02	-	-	-	-	-	-
M1-77	7.0	5.50	0.18	$(1.0 \pm 0.1) \times 10^4$	1.8 ± 0.03	-	-	-	-	-	-
M1-9	4.8	4.88	0.11	$(4.3 \pm 0.3) \times 10^3$	4.1 ± 0.02	4.32 ± 0.04	4.39 ± 0.04	40	-	-	-
M1-5	2.5	2.92	0.03	$(2.9 \pm 0.6) \times 10^4$	4.0 ± 0.01	3.74 ± 0.02	3.78 ± 0.02	37	36	№4 $M = 1 M_{\odot}$	7500
Vy1-1	5.2	6.19	0.16	$(3.4 \pm 0.6) \times 10^3$	3.0 ± 0.03	4.64 ± 0.06	5.10 ± 0.06	37	35	№2 $M = 1.7 M_{\odot}$	550
M1-61	St	2.37	<0.01	$(1.0 \pm 0.1) \times 10^5$	3.8 ± 0.01	5.49 ± 0.02	6.11 ± 0.02	38	38	№4 $M = 2.2 M_{\odot}$	300
Hu1-1	5.0	4.70	0.11	$(4.0 \pm 0.5) \times 10^3$	4.0 ± 0.01	6.40 ± 0.02	6.44 ± 0.02	40	33	№3 $M = 2 M_{\odot}$	730
PC 12	4.6	6.22	0.14	$(4.3 \pm 0.5) \times 10^3$	4.0 ± 0.03	3.55 ± 0.05	3.65 ± 0.05	45	46	№1 $M = 1 M_{\odot}$	1380

температур. Это возможно, если ее звезда имеет большую начальную массу (табл.4).

Таким образом, можно сделать вывод о том, что ускоренная эволюция центральных звезд в целом неплохо объясняет наблюдаемые данные. Иными словами основным источником спектральных изменений является повышение температуры центральных звезд. Если электронная плотность в зонах формирования линий [OIII] близка к критическому значению ($\sim 5 \cdot 10^5 - 10^6 \text{ см}^{-3}$), то небольшие изменения плотности, связанные с расширением оболочки, могут привести к дополнительному усилению этих линий.

Некоторые планетарные туманности из нашего списка демонстрируют несколько необычное поведение эмиссионных линий. Так, в спектре M1-6 с 2014г. излучение ослабевает во всех линиях, включая линии H β (рис.2). Потоки излучения в линиях [OIII] также уменьшались, но медленнее, чем в H β , поэтому тенденция к увеличению нормированных значений сохранялась. При этом наблюдалось понижение яркости объекта в оптических фильтрах. Возможно, все эти эффекты связаны с ослаблением ионизирующего потока центральной звезды, вызванным ее частичным экранированием каким-то плотным фрагментом газа в оболочке.

Исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (программа № BR20280974).

Астрофизический Институт им. В.Г.Фесенкова, Алматы, Казахстан,
e-mail: lu_kondr@mail.ru

VARIABILITY OF PLANETARY NEBULAE. RESULTS OF THE LONG-TERM OBSERVATIONS

L.N.KONDRATYEVA, E.K.DENISSYUK, S.A.SHOMSHEKOVA,
I.V.REVA, A.K.AIMANOVA, M.A.KRUGOV

The results of spectroscopic and photometric observations of 14 compact planetary nebulae are presented. The observations were carried out at the Fesencov Astrophysical Institute (Republic of Kazakhstan) since 1973. Our goal was to obtain data on the variability of our objects over long-time intervals. The intensities of the [OIII] lines normalized to H β intensity were used as a criterion for determining the excitation degree of gas in the nebula. Analysis of data obtained over 40-50 years showed significant changes in the spectra of the most of our

objects, most likely associated with an increase of the temperature of the central stars and/or with a change in the internal structure of the envelopes.

Keywords: *planetary nebulae: evolution of the central stars: photometry: spectro-photometry*

ЛИТЕРАТУРА

1. *G.Handler, R.Prinja et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **430**, 2923, 2013.
2. *B.Hrivnak, W.Lu, W.Bakke et al.*, Astrophys. J., **939**, 32, 2022.
3. *P.Patriachi, M.Perinotto*, Astron. Astrophys. Suppl., **126**, 385, 1997.
4. *E.Paunzen, M.Netopil, M.Rode-Paunzen*, IBVS, **6194**, 1, 2017.
5. *O. De Marko, T.Hillwig, A.Smith*, Astron. J., **136**, 323, 2008.
6. *T.Hillwig, D.Frew, M.Louie*, Astron. J., **150**, 30, 2015.
7. *L.Aller, J.Lillo-Box, D.Jones et al.*, Astron. Astrophys., **635**, 128, 2020.
8. *T.Hillwig, H.Bond, D.Frew et al.*, Astron. J., **152**, 34, 2016.
9. *L.Miranda, J.Torrelles, J.Lillo-Box*, Astron. Astrophys., **657L**, 9, 2022.
10. *L.Kondratyeva, E.Denissyuk, M.Krugov*, Astrophysics, **60**, 497, 2017.
11. *M.Hajduk, P. van Hoof, K.Gesicki et al.*, Astron. Astrophys., **567**, 15, 2014.
12. *M.Hajduk, P. van Hoof, A.Zijlstra*, ASPC, **493**, 533, 2015.
13. *T.Mocnik, M.Lloyd, D.Pollacco et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **451**, 870, 2015.
14. *V.Arkipova, N.Ikonnikova, A.Kniazev et al.*, Astron. Lett., **39**, 201, 2013.
15. *V.Arkipova, M.Burlak, N.Ikonnikova et al.*, Astron. Lett., **46**, 100, 2020.
16. *M.Miguel, M.Bertolami*, Astron. Astrophys., **588**, A25, 2016.
17. *N.Ikonnikova, I.Shaposhnikov, V.Esipov et al.*, Astron. Lett., **47**, 560, 2021.
18. *E.Denissyuk*, A&AT, **22**, 175, 2003.
19. *A.Kharitonov, V.Tereschenko, L.Knyzeva*, Spectrophotometric catalog of stars, Kazakh University, Almaty, 2011.
20. *A.Landolt*, Astron. J., **146**, 131, 2013.
21. *L.Kondrateva*, Astron. Lett., **20**, 644, 1994.
22. *A.Acker, F.Ochsenbein, B.Stenholm*, The Strasbourg-ESO Catalogue of the galactic planetary nebulae, ESO, Strasbourg, 1992.
23. *J.Cahn, J.Kaler, B.Stanghellini*, Astron. Astrophys. Soc., **94**, 399, 1992.
24. *J.Kaler*, Astrophys. J., **220**, 889, 1978.
25. *R.Kingsburgh, M.Barlow*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **271**, 257, 1994.
26. *L.Carasco, A.Serrano, R.Costero*, RMxAA, **8**, 187, 1983.
27. *R.Shao, J.Kaler*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **69**, 495, 1989.
28. *J.Kaler, K.Kwitter, R.Shao et al.*, Publ. Astron. Soc. Pacif., **108**, 980, 1996.
29. *R.Henry, K.Kwitter, A.Jaskot et al.*, Astrophys. J., **724**, 748, 2010

30. *F.Cuisinier, A.Acker, J.Koeppen*, *Astron. Astrophys.*, **307**, 215, 1996.
31. *D.Frew, I.Bojičić, O.Parker et al.*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **431**, 2, 2013.
32. *M.Guererro, A.Manchado, L.Stanghellini et al.*, *Astrophys. J.*, **464**, 847, 1996.
33. *O.Cavichia, R.Costa, W.Maciel*, *RMxAA*, **46**, 159, 2010.
34. *N.Barker*, *Astrophys. J.*, **219**, 914, 1978.
35. *W.Wesson, X-W.Liu, M.Barlou*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **362**, 424, 2001.
36. *F.Sabbadin, S.Ortolanin, A.Bianchini et al.*, *Astron. Astrophys.*, **123**, 147, 1983.
37. *R.Tylenda, A.Acker, B.Stenholm et al.*, *Astron. Astrophys. Suppl.*, **89**, 77, 1991.
38. *M.Dopita, C.Hua*, *Astron. Astrophys. Suppl.*, **108**, 515, 1997.
39. *J.Bohigas*, *RMxAA*, **48**, 267, 2012.
40. *K.Kwitter, R.Henry, J.Milingo*, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **115**, 80, 2003
41. *S.Huang, L.Aller*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **278**, 551, 1996.
42. *P.Girard, J.Koeppen, A.Acker*, *Astron. Astrophys.*, **463**, 265, 2007.
43. *J.Garcia-Rojas, M.Pena, M.Morisset et al.*, *Astron. Astrophys.*, **538**, 54, 2012
44. *L.Aller, S.Czyzak*, *Astron. Astrophys. Suppl.*, **51**, 211, 1983.
45. *N.Zacharias, C.Finch, A.Subasavage et al.*, *yCat*, 1329, 2015.