

Исследование звезд и туманностей

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 81 – 89

UDK 524.335

L. Kondratyeva, F. Rspayev, M. Krugov

Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan

lu_kondr@mail.ru

SPECTRAL STUDY OF THE PLANETARY NEBULAE PC 12 AND M1-46

Abstract. This paper presents the results of spectral observations of two planetary nebulae PC 12 and M1-46, carried out in 1981 – 2016.. The long-term researches of these objects allow to reveal essential changes of their spectra. Thus the weakening of the H β and [OIII] emission fluxes is observed in the planetary nebula PC 12, while the fluxes in the "red" wavelength range are almost the constant. Most likely, the strengthening of absorption on a line of sight is the reason of observed variations. An opposite effect is observed in planetary nebulae M1-46: emission fluxes of almost all lines and an ionization degree are increased. Observable changes are caused, most likely, by expansion of ionized zone and by reduction of absorption on a line of sight. In turn the extension of the ionized zone can be connected to structural reorganizations in an environment, namely displacement of dense globes from the centre of a nebula to its external borders.

Key words: planetary nebulae, individual objects – PC 12, M1-46

УДК 524.335

Л.Н. Кондратьева, Ф.К. Рспаев, М.А. Кругов

ДТОО «Астрофизический Институт им. Фесенкова», г. Алматы, Казахстан

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАНЕТАРНЫХ ТУМАННОСТЕЙ PC 12 И M1-46

Аннотация. В статье представлены результаты спектральных наблюдений планетарных туманностей PC 12 и M1-46, проводимых в 1981 – 2016гг. Многолетние исследования этих объектов позволили выявить существенные изменения их спектров. В планетарной туманности PC12 наблюдается ослабление потоков излучения в линиях H β и [OIII] при неизменных потоках в «красной» области длин волн. Причина, вероятнее всего, заключается в усилении поглощения на луче зрения. В планетарной туманности M1-46 напротив, отмечается усиление потоков излучения в эмиссионных линиях и повышение степени ионизации газа. Наблюдаемые изменения вызваны, скорее всего, расширением зоны ионизации и уменьшением поглощения на луче зрения. В свою очередь увеличение размера зоны ионизованного газа может быть связано со структурными перестройками в оболочке, а именно смещением плотных глобул, из центральной зоны туманности к ее внешним границам.

Ключевые слова: планетарные туманности; индивидуальные объекты – PC12, M1-46.

Введение

Планетарные туманности представляют собой промежуточную стадию эволюции звезд на пути превращения красных гигантов в белые карлики. Большинство проблем физики планетарных туманностей

так или иначе связано с происхождением и начальными этапами эволюции этих объектов. Изучение ранних стадий эволюции вызывает наибольший интерес, поскольку именно в этот период могут происходить активные процессы, которые сопровождаются образованием оболочек, джетов и других структурных деталей.

В последние годы появились данные, свидетельствующие о спектральной переменности некоторых планетарных туманностей [1 - 3]. Зарегистрированы изменения потоков излучения в эмиссионных линиях разной степени ионизации. Они происходят достаточно медленно, в течение 20 -40 лет. Причины наблюдаемой переменности пока непонятны. Отрезок времени в 40 и даже 100 лет слишком мал, для того, чтобы произошли существенные изменения характеристик ионизирующего источника - центральной звезды. Постепенное расширение оболочки, которое заведомо имеет место, также неспособно должным образом повлиять на плотность и степень ионизации газа в туманности. Иными словами, наблюдаемая спектральная переменность не может быть вызвана слишком медленными эволюционными изменениями звезды и туманности.

Возможно, спектральная переменность туманностей связана с перестройкой ее внутренней структуры. Одно время предполагалось, что полярные джеты, крупномасштабные глобулы и биполярные структуры формируются при взаимодействии остаточного звездного ветра красного гиганта и горячего ветра центральной звезды. В этом случае молодые и протопланетарные туманности, на которые не повлиял быстрый ветер центральной звезды, должны иметь первоначальную однородную структуру. Однако, как показало исследование большой группы молодых объектов, оболочки с динамическим возрастом <2000 лет уже демонстрируют полный набор неоднородностей, обнаруживаемых в больших туманностях [4]. Таким образом, получается, что неоднородности формируются на еще более ранних стадиях эволюции планетарных туманностей. Последние годы поиск и анализ неоднородностей в структуре молодых планетарных туманностей стали излюбленной темой многих исследователей [5- 9]. Рассматривается связь между формированием джетов и первоначальной структурой оболочки на стадии красного гиганта [5]. Выдвинуто предположение о роли аккреционного диска, как источника биполярных выбросов [7, 9]. В принципе, наблюдаемые спектральные изменения можно ожидать в том случае, если центральный источник является двойной звездной системой. В целом данная проблема остается нерешенной.

Цель данной работы состоит в поиске переменности спектров планетарных туманностей на достаточно длинном временном интервале. В 1970 - 1975 гг в АФИФ проводились спектральные наблюдения большой группы планетарных туманностей малых угловых размеров. Используя эту раннюю базу данных для сравнения с современными результатами, можно выявить изменения потоков излучения в эмиссионных линиях. В данной работе обсуждаются результаты исследования двух планетарных туманностей PC 12 и M1-46.

1. Наблюдения и обработка результатов.

Ранние наблюдения планетарных туманностей PC12 и M1-46 выполнялись в 1990 - 1993 гг на телескопе АЗТ-8 с диаметром зеркала 70 см [10]. Использовался дифракционный спектрограф оригинальной конструкции, оснащенный на выходе электронно-оптическим преобразователем (ЭОП УМ-92). Изображения регистрировались на астрономическую фотоэмульсию типа А-600. Подробное описание аппаратуры и методов обработки снимков, полученных с ЭОПом, можно найти в работе Денисюка [11]. Вторая серия наблюдений проводится в настоящее время, в основном, на телескопе АЗТ-8 с тем же спектрографом. В качестве приемника излучения используется CCD камера ST-8 (1530x1020, 9 μ m). Она имеет ряд преимуществ по сравнению с ЭОПом, однако существенно уступает в чувствительности. Именно поэтому на современных спектрограммах слабых объектов удается измерять только наиболее сильные эмиссионные линии. Несколько дополнительных спектров было получено на 1-метровом телескопе Тянь-Шанской Обсерватории АФИФ. Спектрограммы исследуемого объекта получаются с узкой (2" - 3") и с широкой (7" - 10") входной щелью. Наблюдения стандартной звезды с известным распределением энергии в спектре из каталога [12] выполняются с широкой входной щелью. Широкая входная щель гарантирует прохождение и регистрацию всего потока излучения объекта и стандартной звезды и дает возможность учесть спектральную чувствительность аппаратуры и представить спектр исследуемого объекта в абсолютных энергетических единицах. Спектрограммы, полученные с узкой щелью и с разрешением 0.5 - 0.7 \AA , используются для исследования структуры эмиссионных линий. Процедура первичной обработки спектрограмм состоит из стандартных операций: вычитание темнового тока, учета влияния атмосферной экстинкции. Далее, сравнивая распределение энергии в наблюдаемом непрерывном спектре стандартной звезды с данными из Каталога [12], вычисляются коэффициенты зависимости спектральной чувствительности аппаратуры от длины волны. Аппроксимация полученных коэффициентов полиномом 6 - 9 порядков дает кривую спектральной чувствительности аппаратуры, которая используется для исправления спектров исследуемых объектов.

2. Результаты наблюдений планетарной туманности PC12

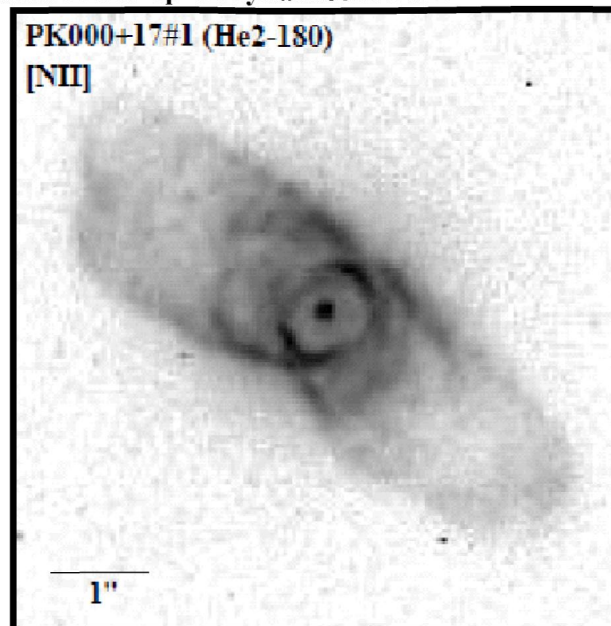


Рисунок 1 - Изображения туманности PC12 в фильтре [NII]. Наблюдения выполнены на космическом телескопе Хаббла [14].

Планетарная туманность PC 12 представляет собой компактный объект довольно низкой яркости ($V \sim 13^m$). Изображение туманности в фильтре [NII] приводится на рисунке 1. Ее центральная часть имеет угловые размеры $2''.2 \times 2''.3$ [13]. В структуре просматриваются плотные детали в форме дуг. Кроме того имеются протяженная внешняя зона эллиптической формы, с размером большой оси $\sim 8''$. В спектре туманности наблюдаются эмиссионные линии H α , [NII], [SII], [OIII], HeI, [OI] и [ArIII].

Таблица 1 – Абсолютные потоки излучения в «синей» области спектра планетарной туманности PC 12

| Дата | 1982-1983 [13] | 1984-1985 [15] | 1992-1993 [17] | 17.06.2015 АФИФ | 28.06.2016 АФИФ |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| H γ , 4340 | | | | 0.64±0.14 | 0.81±0.16 |
| H β , 4861 | 2.75±0.12 | 1.23±0.01 | 1.48±0.12 | 1.38±0.11 | 1.51±0.10 |
| [OIII], 4959 | | 1.39±0.10 | | 1.48±0.11 | 1.31±0.09 |
| [OIII], 5007 | | 6.02±0.10 | | 4.27±0.16 | 3.91±0.15 |

Примечание: в столбцах даны: 1- ион и длина волны в ангстремах, 2 – 6 – потоки излучения в эмиссионных линиях в шкале 10^{-12} эрг/см²сек

Таблица 2 – Абсолютные потоки излучения в «красной» области спектра планетарной туманности PC 12

| Дата наблюдений | 1984-1985 [15] | 18.06.2015 | 31.05.2016 | 28.06.2016 | 29.06.2016 |
|-------------------|-------------------|------------|------------|------------|------------|
| 1 | | 2 | 3 | 4 | 5 |
| HeI, 5876 | | | | | 2.64±0.15 |
| [OI], 6300 | | | | | 1.17±0.11 |
| [NII], 6548 | | 7.72±0.16 | 7.79±0.11 | 7.83±0.11 | 7.30±0.30 |
| H α , 6562 | | 68.7±2.2 | 65.4±2.1 | 66.7±2.1 | 64.4±2.1 |
| [NII], 6583 | 20.05 | 25.1±1.5 | 23.3±1.1 | 24.5±1.0 | 22.5±2.0 |
| HeI, 6678 | | 0.84±0.09 | 0.72±0.09 | 0.84±0.05 | 0.86±0.05 |
| [SII], 6717 | | 0.78±0.09 | 0.92±0.09 | 0.91±0.09 | 1.41±0.08 |
| [SII], 6731 | | 1.7±0.1 | 1.99±0.16 | 1.48±0.11 | 1.66±0.09 |
| HeI, 7065 | | | 1.27±0.12 | 1.01±0.16 | |
| [ArIII], 7136 | | | 2.07±0.19 | 1.89±0.15 | |

Примечание: в столбцах таблицы даны: 1- ион и длина волны в ангстремах, 2 – 5 – потоки излучения в эмиссионных линиях в шкале 10^{-13} эрг/см²сек.

Анализ Таблиц 1 и 2 выявил ослабление примерно в 1.5 раза потоков излучения в линиях H β , и [OIII], при этом излучение в остальных эмиссионных линиях оставалось достаточно стабильным. В Таблице 3 приводятся относительные интенсивности эмиссионных линий, исправленные с учетом межзвездного поглощения. Точность значений составляет от 10 до 20% в зависимости от интенсивности линии. Имеет место разброс среди приведенных значений, вместе с тем отсутствуют какие-либо тенденции в изменениях интенсивностей. Коэффициенты межзвездного поглощения C(H β) даны в предпоследней строке Таблицы 3. Они вычислялись путем сравнения наблюдаемого бальмеровского декремента с его теоретическими значениями, использовались интенсивности линий H γ , H β и H α . Электронная плотность рассчитывалась по отношениям интенсивностей линий [SII], 6717 и 6731A.

Наблюдаемые изменения коэффициента поглощения отражают реальные изменения количества пыли на луче зрения. Пылевая составляющая может пополняться в процессе истечения вещества из атмосферы центральной звезды, рассеивание в пространстве приводит к уменьшению ее плотности.

Начиная с 1981г, наблюдается уменьшение электронной плотности оболочки, это относится к зонам излучения линий [SII]. Достаточная стабильность абсолютных потоков излучения в линиях HII свидетельствует о том, что плотность основной оболочки если и меняется, то очень слабо.

Если принять во внимание, что эмиссионные потоки в линиях H α , HeI, 6678, [NII] и [ArIII] за рассматриваемый период времени практически не изменились, можно предположить, что наблюдаемое ослабление именно «синих» эмиссионных линий связано с усилением поглощения на луче зрения

Таблица 3 - Относительные интенсивности линий в шкале I(H β)=100 в спектре планетарной туманности PC 12

| Дата наблюдений | 30.06. 1981 [20] | 1984 – 1985 [15] | 1992 -1993 [17] | 1991 – 1993 [10] | 17.06. 2015 АФИФ | 31.05. 2015 АФИФ | 28.06. 2016 АФИФ | 29.06. 2016 АФИФ |
|-------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| H δ , 4101 | 25.1 | | 26.7 | | | | | 27.3 |
| H γ , 4340 | 56.5 | | 46.8 | 48.5 | 49.6 | | 36.7 | 41.1 |
| H β , 4861 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | | 100 | 100 |
| [OIII], 4959 | 98.5 | 109 | 103 | 85.7 | 97.9 | | 82.7 | 97.8 |
| [OIII], 5007 | | 463 | | 274 | 293 | | 263 | 310 |
| HeI, 5876 | | | 15.8 | | | | | 13.2 |
| [OI], 6300 | 2.6 | | 2.9 | | | 4.3 | | 4.9 |
| [NII], 6548 | 37.6 | | | | 35.9 | 34.9 | 37.2 | 33.1 |
| H α , 6562 | 289 | | | 303 | 319 | 300 | 300 | 300 |
| [NII],6583 | 90.5 | 96.4 | | 95.7 | 116 | 105 | 105 | 105 |
| HeI, 6678 | 2.5 | | 4.4 | 8.3 | 3.9 | 3.9 | 4.1 | 3.4 |
| [SII], 6717 | 2.1 | | 4.3 | 5.0 | 4.2 | 4.4 | 4.8 | 5.4 |
| [SII], 6731 | 4.1 | | 7.7 | 9.6 | 8.0 | 8.3 | 6.3 | 7.4 |
| HeI, 7065 | | | 7.3 | 7.1 | 5.2 | 6.6 | 5.6 | |
| [ArIII],7136 | | | 9.1 | 12.0 | | 10.1 | 9.2 | |
| C(H β) | 0.84 | 0.70 | 0.00 | 0.20 | 0.52 | 0.52 | 0.50 | 0.50 |
| Ne(cm $^{-3}$) | 7400 | | 4800 | 6500 | 6000 | 5000 | 3000 | 2800 |

Примечание: в столбцах таблицы даны: 1- ион и длина волны в ангстремах, 2 – 8 относительные интенсивности линий в шкале I(H β)=100. В последних строках Таблицы даны коэффициенты межзвездного поглощения C(H β) и электронная плотность газа Ne.

3. Результаты исследования планетарной туманности M1-46

Планетарная туманность M1-46 относится к объектам с мультиплетными оболочками. Угловой размер центральной (Main) зоны составляет $\sim 5''$. Протяженное гало имеет диаметр $\sim 15''$. На изображении центральной области (рисунок 2) прослеживается неоднородная структура с уплотнениями, волокнами и дугами.

Исследования кинематической структуры оболочки было выполнено в 1993г. [19]. Спектрограммы М1-46, полученные с высоким разрешением использовались для исследования скоростей внутренних движений в оболочке. Карты, построенные для зон излучения линий $H\alpha$ и $[NII]$, представлены на рисунке 3. Зоны повышенной плотности отчетливо видны на обоих графиках. В цитируемой статье доказано, что центральная туманность и гало сформировались одновременно, однако отдельные компоненты оболочки имеют разные скорости, что противоречит модели равномерного расширения оболочки после ее отделения.

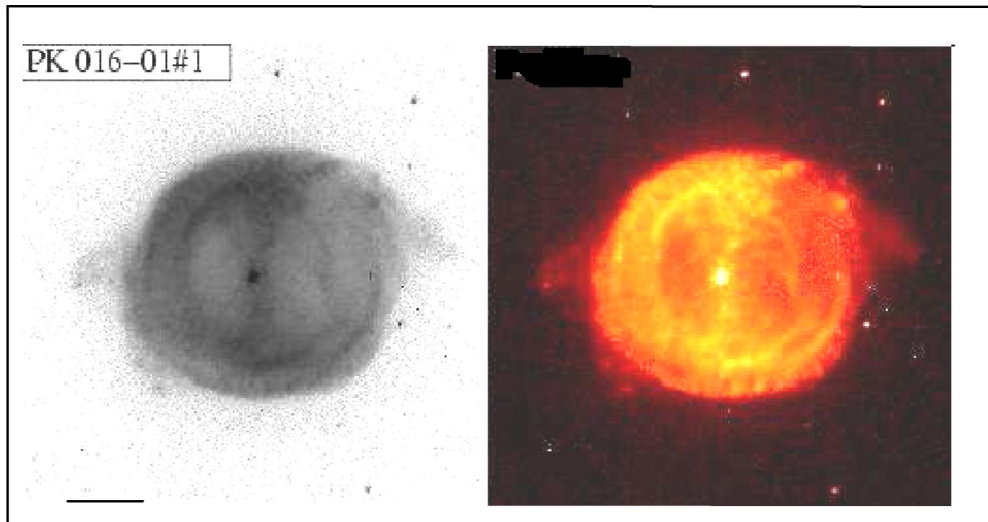


Рисунок 2 – Изображения туманности М1-46 в фильтре $[NII]$. Наблюдения выполнены на космическом телескопе Хаббла [21]

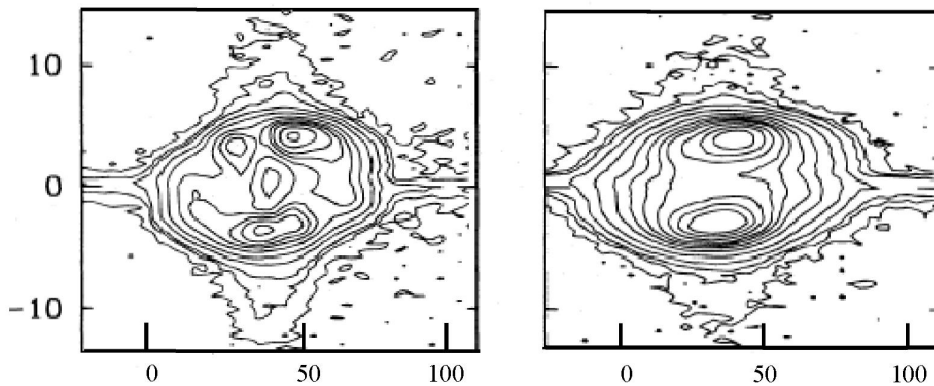


Рисунок 3 – Карты распределения интенсивности в фильтрах $[NII]$ (слева) и $H\alpha$ (справа). Ось X – лучевые скорости в км/сек. Ось Y – расстояние в угловых секундах

Вероятнее всего, отдельные структурные элементы сформировались при неоднородном расширении ионизационного фронта в процессе взаимодействия между остаточным ветром красного гиганта и более быстрым ветром центральной звезды [19].

В АФИФ первые наблюдения М1-46 проводились в 1980 -1983, повторные – в 2015 -2016гг. Абсолютная калибровка ранних спектров не выполнялась, измерялись только относительные интенсивности эмиссионных линий. Для обработки результатов современных наблюдений М1-46 использовалась стандартная звезда HD 170296 с известным распределением энергии из Каталога [11].

Таблица 4 – Характеристики эмиссионных линий в «синей» области спектра планетарной туманности М1-46

| Дата | 1984 – 1990 | 07.08.1993 | 17.06.2015 | | 29.06.2016 | |
|-------------------|-------------|------------|------------|--------|------------|--------|
| | [19] | [18] | Fabs | EW (A) | Fabs | EW (A) |
| H γ , 4340 | | 0.56±0.12 | 1.07±0.12 | 40.3 | 0.98±0.10 | 39.8 |
| HeI, 4471 | | 0.07±0.06 | 0.12±0.01 | 4.5 | | |
| H β , 4861 | 0.955±0.005 | 1.60±0.10 | 2.64±0.14 | 109 | 2.68±0.12 | 119 |
| [OIII], 4959 | | 0.20±0.03 | 0.44±0.04 | 20.5 | 0.59±0.04 | 26.8 |
| [OIII], 5007 | | 0.63±0.03 | 1.60±0.11 | 73.6 | 1.82±0.12 | 82.5 |

Примечание: в столбцах даны: 1- ион и длина волны в ангстремах; 2, 3, 4, 6 – потоки излучения в эмиссионных линиях в шкале 10⁻¹² эрг/см²сек; 5, 7 – эквивалентная ширина эмиссионных линий в ангстремах

Абсолютные потоки излучения для наиболее ярких эмиссионных линий и их эквивалентные ширины приведены в Таблицах 4 и 5. Точность определения эквивалентных ширин составляет 10 – 15%.

Таблица 5 - Характеристики эмиссионных линий в «красной» области спектра планетарной туманности М1-46

| Дата наблюдений | 07.08.1993 | 18.06.2015 | | 31.05.2016 | | 28.06.2016 | |
|-------------------|------------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | [9] | Fabs | EW (A) | Fabs | EW (A) | Fabs | EW (A) |
| [NII], 6548 | 1.20±0.06 | 1.05±0.11 | 48.3 | 1.77±0.11 | | 1.76±0.11 | 86.8 |
| H α , 6562 | 7.44±0.23 | 7.29±0.30 | 334 | 11.16±0.31 | 557 | 11.65±0.32 | 575 |
| [NII], 6583 | 4.18±0.11 | 3.41±0.31 | 156 | 5.38±0.21 | 269 | 5.98±0.22 | 295 |
| HeI, 6678 | 0.10±0.01 | 0.10±0.01 | 4.9 | 0.15±0.02 | 9.8 | 0.12±0.02 | 10.3 |
| [SII], 6717 | 0.18±0.03 | 0.14±0.02 | 6.6 | 0.61±0.02 | 32.1 | 0.22±0.02 | 11.4 |
| [SII], 6731 | 0.30±0.02 | 0.22±0.02 | 10.4 | | | 0.34±0.02 | 18.3 |
| HeI, 7065 | 0.15±0.03 | 0.08±0.02 | 4.0 | 0.18±0.02 | 10.7 | 0.19±0.02 | 9.8 |
| [ArIII], 7136 | 0.68±0.27 | | | 0.79±0.03 | 44.5 | 0.72±0.02 | 45.3 |

Примечание: в столбцах даны: 1- ион и длина волны; 2, 3, 5, 7 – потоки излучения в линиях в шкале 10⁻¹² эрг/см²сек; 4, 6, 8 – эквивалентная ширина эмиссионных линий в ангстремах

Таблица 6 - Относительные интенсивности линий в спектре М1-46 в шкале I(H β)=100

| Дата наблюдений | 1980 – 1983 | 07.08.1993 | 17.06.2015 | 31.05.2015 | 28.06.2016 | 29.06.2016 |
|------------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | [10] | [9] | АФИФ | АФИФ | АФИФ | АФИФ |
| H δ , 4101 | | 23.2 | 19.4 | | | |
| H γ , 4340 | 46.5 | 42.9 | 45.0 | | | 43.6 |
| HeI, 4471 | | 4.5 | 4.8 | | | 5.1 |
| H β , 4861 | 100 | 100 | 100 | | | 100 |
| [OIII], 4959 | 12.1 | 12.2 | 20.4 | | | 20.8 |
| [OIII], 5007 | 36.0 | 37.7 | 60.2 | | | 61.1 |
| [NII], 6548 | 46.1 | 48.0 | 43.3 | 45.2 | 41.1 | |
| H α , 6562 | 295 | 277 | 300.0 | 300 | 300 | |
| [NII], 6583 | 148 | 135 | 133 | 136 | 138 | |
| HeI, 6678 | | 3.7 | 4.8 | 5.5 | 5.6 | |
| [SII], 6717 | 8 | 6.4 | 5.1 | 16.4 | 6.2 | |
| [SII], 6731 | 13.5 | 10.9 | 8.0 | | 9.1 | |
| HeI, 7065 | 4.1 | 5.0 | 5.3 | 6.8 | 6.8 | |
| [ArIII], 7136 | 15 | 22.8 | 24.2 | 24.6 | 24.7 | |
| C(H β) | 0.79±0.08 | 0.70±0.04 | 0.42±0.06 | 0.42±0.06 | 0.52±0.07 | 0.52±0.07 |
| Ne (см ⁻³) | 4500 | 4000 | 3200 | 3200 | 2600 | 2600 |

Примечание: в столбцах таблицы даны: 1- ион и длина волны в ангстремах, 2 – 7- относительные интенсивности линий в шкале I(H β)=100. В последних строках Таблицы даны коэффициенты межзвездного поглощения C(H β) и электронная плотность газа Ne.

Можно отметить, что за последние 35 лет в спектре туманности произошли серьезные изменения. Регистрируется увеличение потоков излучения в линиях H β и [OIII], 4959, 5007A в 2.5 – 3 раза. Эмиссионные линии H α , [NII], HeI и [ArIII] усилились примерно в 1.5 раза. При этом уменьшился коэффициент межзвездного поглощения, и почти в 2 раза уменьшилась электронная плотность газа. Фактически мы наблюдаем усиление всех эмиссионных линий в 1.5 раза, а дополнительное увеличение потоков излучения линий в «синей» области спектра (H β и [OIII]) вызвано, скорее всего, ослаблением поглощения на луче зрения. Значения относительных интенсивностей эмиссионных линий, полученные в разные годы, приведены в Таблице 6. В частности, наблюдается усиление, почти в два раза эмиссионных линий [OIII], 4959, 5007A, что свидетельствует о повышении степени ионизации газа. Причиной этого может служить увеличение размеров зоны O $^{++}$ и уменьшение плотности газа в этой зоне. Возможное изменение температуры центральной звезды, как причина наблюдаемых изменений, не рассматривается, так как временной отрезок в 35 лет явно недостаточен для существенного изменения этого параметра [22].

Заключение

Проведенные многолетние исследования планетарных туманностей PC12 и M1-46 показали, что их спектры претерпели существенные изменения за последние 30 – 35 лет. В планетарной туманности PC12 наблюдается ослабление потоков излучения в линиях H β и [OIII] при практически неизменных эмиссионных потоках в «красной» области длин волн. Причина, вероятнее всего, заключается в увеличении поглощения на луче зрения, его влияние усиливается с уменьшением длины волны. Таким образом, излучение в «синей» области длин волн ослабляется в большей степени по сравнению с длинноволновым диапазоном. Пылевая составляющая, ответственная за поглощение, может пополняться в процессе истечения вещества из атмосферы центральной звезды.

В планетарной туманности M1-46 отмечается обратный эффект - усиление потоков излучения в эмиссионных линиях и повышение степени ионизации газа. Наблюдаемые изменения вызваны, скорее всего, расширением зоны ионизации и уменьшением поглощения на луче зрения. В свою очередь увеличение размера зоны ионизованного газа может быть связано со структурными перестройками в оболочке, а именно смещением плотных глобул, из центральной зоны туманности к ее внешним границам.

Работа выполнена по проекту «проекту «Исследование физических процессов в газопылевых оболочках молодых звезд, протопланетарных туманностях и ядрах сейфертовских галактик»».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kondratyeva L.N. Spectral variability of planetary nebulae and related objects, *Astron. Astrophys. Transact.*, V. 4, 2005, P. 291-296.
- [2] Hajduk M., van Hoof P., Zijlstra A. Evolution of the central stars of young planetary nebulae, *A&A*, Vol. 573, 2015, P.65.
- [3] Кондратьева Л., Рспаев Ф., Аймуратов Е. Переменность планетарной туманности M1-65, *Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия физико-математ.*, Т. 5, 2016, С. 22.
- [4] Kwok S. Morphological Structures of Planetary Nebulae, *PASA*, V. 27, P. 174.
- [5] Sahai R., Morris M., Contreras C., Claussen M. Understanding the immediate progenitors of planetary nebulae, *IAUS*, V. 283, 2012, P. 180.
- [6] Sahai R., Morris M., Villars G. Young planetary nebulae: Hubble space telescope imaging and a new morphological classification system, *AJ*, V.141, 2011, P.134.
- [7] Bright S., De Marco O., Chesneau O., et al. Observing Compact Disks Inside Pre-Planetary Nebulae with the Very Large Telescope Interferometer, *AAS*, 2012, 21924410.
- [8] Velázquez P., Raga A., Riera A., et al. Multipolar young planetary nebulae modelled as a precessing and orbiting jet with time-dependent ejection velocity, *MNRAS*, V. 419, 2012, P. 3529.
- [9] Miszalski B., Boffin H., Corradi R. Carbon dwarf wearing a Necklace: first proof of accretion in a post-common-envelope binary central star of a planetary nebula with jets, *MNRAS*, V. 428, 2013, L39.
- [10] Кондратьева Л. Планетарные туманности низкого возбуждения, *Астрофизика*, Т. 22, 1985, С. 153.
- [11] Denisyyuk E. Spectrograph for Faint Objects: the Device and the Main Results of Observations, *A&AT*, Vol. 22, 2003, P. 175.
- [12] Харитонов А.В., Терещенко В.М., Князева Л.Н. Спектрофотометрический каталог звезд. Алма-Ата. 1988.
- [13] Tylanda R., Siódmiak N., Górny S., et al. Angular dimensions of planetary nebulae, *A&A*, V. 405, 2003, P. 627.
- [14] Sahai R. Bipolar and multipolar jets in protoplanetary and planetary nebulae, *Rev. Mex.Astron.Astrofiz Conf. Ser.*, V. 133, 2002, P. 138.

- [15] Shaw R., Kaler J. Apparent magnitudes of luminous planetary nebula nuclei. II. A survey of southern hemisphere planetary nebulae, *ApJS*, V. 69, 1989, P.495.
- [16] Carrasco L., Serrano A., Costero R. Photoelectric absolute H β fluxes for 55 planetary nebulae, *Rev. Mex. Astron. Astrofiz.*, V. 8, 1983, P. 187.
- [17] Cuisinier F., Acker A., Koppen J. Spectrophotometric observations of planetary nebulae high above the Galactic plane, *A&A*, V. 307, 1996, P. 215.
- [18] Acker A., Stenholm B., Tylenda R. The absolute H β fluxes for southern planetary nebulae, *A&AS*, V. 77, 1989, P. 487.
- [19] Guerrero M., Manchado A., Stanghellini L., et al. M1-46: A case study on multiple-shell planetary nebula formation, *ApJ*, V. 464, 1996, P.847.
- [20] Kaler J. Bell D., Hayes J., et al. Spectrophotometry of 15 planetary nebulae and a possible imbiotic star, *PASP*, V. 105, 1993, P. 599.
- [21] Sahai R., Morris M., Villar G Young planetary nebular: Hubble space telescope imaging and a new morphological classification system, *arXiv1101.2214 v1*, 2011.
- [22] Marigo P., Girard L., Groenewegen M. Evolution of planetary nebulae, *A&A*, V. 378, 2001, P. 958.

REFERENCES

- [1] Kondratyeva L.N. Spectral variability of planetary nebulae and related objects. *Astron. Astrophys. Transact.*, Vol. 4, 2005. P. 291-296.
- [2] Hajduk M., van Hoof P., Zilstra A. Evolution of the central stars of young planetary nebulae, *A&A*, Vol. 573, 2015. Page 65.
- [3] Kondratyeva L., Rspaev F., Aimuratov Ye. Переменность планетарной туманности M1-65, *Izvestiya of National Academy of Sciences of Republic Kazakhstan*, Vol. 5, 2016. Page 22 (in Russian)
- [4] Kwok S. Morphological Structures of Planetary Nebulae, *PASA*, Vol. 27, Page 174.
- [5] Sahai R., Morris M., Contreras C., Claussen M. Understanding the immediate progenitors of planetary nebulae, *IAUS*, Vol. 283, 2012. Page 180.
- [6] Sahai R., Morris M., Villars G. Young planetary nebulae: Hubble space telescope imaging and a new morphological classification system, *AJ*, Vol.141, 2011. Page134.
- [7] Bright S., De Marco O., Chesneau O., et al. Observing Compact Disks Inside Pre-Planetary Nebulae with the Very Large Telescope Interferometer, *AAS*, 2012. 21924410.
- [8] Velázquez P., Raga A., Riera A., et al. Multipolar young planetary nebulae modelled as a precessing and orbiting jet with time-dependent ejection velocity, *MNRAS*, Vol. 419, 2012. Page 3529.
- [9] Miszalski B., Boffin H., Corradi R. Carbon dwarf wearing a Necklace: first proof of accretion in a post-common-envelope binary central star of a planetary nebula with jets, *MNRAS*, Vol. 428, 2013. L39.
- [10] Denissyuk E. Spectrograph for Faint Objects: the Device and the Main Results of Observations, *A&AT*, Vol. 22, 2003. Page 175.
- [11] Kharitonov A.V., Tereshchenko V. M., Knyazeva L.N. Spectrophotometric Catalog of stars Almaty. 1988 (in Russian)
- [12] Tylenda R., Siódmiak N., Górny S., et al. Angular dimensions of planetary nebulae. *A&A*, Vol. 405, 2003. Page 627.
- [13] Sahai R. Bipolar and multipolar jets in protoplanetary and planetary nebulae, *Rev. Mex.Astron.Astrofiz Conf. Ser.*, Vol. 133, 2002. Page138.
- [14] Shaw R., Kaler J. Apparent magnitudes of luminous planetary nebula nuclei. II. A survey of southern hemisphere planetary nebulae. *ApJS*, Vol. 69, 1989. Page 495.
- [15] Carrasco L., Serrano A., Costero R. Photoelectric absolute H β fluxes for 55 planetary nebulae. *Rev. Mex. Astron. Astrofiz.*, Vol. 8, 1983. Page 187-191.
- [16] Cuisinier F., Acker A., Koppen J. Spectrophotometric observations of planetary nebulae high above the Galactic plane. *A&A*, Vol. 307, 1996. Page 215-224.
- [17] Acker A., Stenholm B., Tylenda R. The absolute H β fluxes for southern planetary nebulae, *A&AS*, Vol. 77, 1989. Page 487.
- [18] Guerrero M., Manchado A., Stanghellini L., et al. M1-46: A case study on multiple-shell planetary nebula formation, *ApJ*, Vol. 464, 1996. Page 847.
- [19] Kaler J. Bell D., Hayes J., et al. Spectrophotometry of 15 planetary nebulae and a possible imbiotic star, *PASP*, Vol. 105, 1993. Page 599-577.
- [20] Sahai R., Morris M., Villar G Young planetary nebular: Hubble space telescope imaging and a new morphological classification system, *arXiv1101.2214 v1*, 2011.
- [21] Marigo P., Girard L., Groenewegen M. Evolution of planetary nebulae, *A&A*, Vol. 378, 2001. Page 958 -966.

Л.Н. Кондратьева, Ф.К. Рспаев, М.А. Кругов

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы қ., Қазақстан

PC 12 ЖӘНЕ M1-46 ПЛАНЕТАЛЫҚ ТҰМАНДЫҚТАРДЫҢ СПЕКТРЛІК ЗЕРТТЕУЛЕРІ

Аннотация. Мақалада 1981 – 2016 жылдары жүргізілген PC 12 және M1-46 планеталық тұмандықтардың спектрлік бақылауларының нәтижелері ұсынылды. Бұл объектілердің көп жылдық зерттеулері олардың спектрлерінің айтарлықтай өзгерістерін анықтауға мүмкіндік берді. Толқындар ұзақтығы «қызыл» аймағы өзгеріссіз ағымдары кезінде PC12B планеталық тұмандықта H β және [OIII] сызықтықтарында ағымдардың әлсіздігі бақыланады. Себебі көру сәулесінде жұтудың үдеуімен қорындындылануы мүмкін. M1-46 планеталық тұмандықта керісінше, эмиссиялық сызықтарда сәулелену ағымдары күшеюі және газдың иондалу дәрежесі артуы белгіленеді. Бақыланған өзгерістер иондалудың кеңейтілген аймағымен және көру сәулесінде жұтудың азаюымен байланысты. Иондалған газдың аймағының көлемі артуы өз кезегінде қабаттардағы құрылымдық қайта құрылулармен, оның сыртқы аймағына тұмандықтың орталық аймағынан тығыз глобулдың араласуымен байланысты болуы мүмкін.

Түйін сөздер: планеталық тұмандықтар; жеке объектілер – PC12, M1-46.

Сведения об авторах

Кондратьева Людмила Николаевна - канд. физ.-мат. наук, доцент, Дом. адрес: Алматы, Обсерватория, д. 20, кв.18, Место работы - ДТОО Астрофизический Институт им. В.Г. Фесенкова, Телефон: 260-74-99, e-mail: lu_kondr@mail.ru;

Рспаев Фарид Кудайбергенович - Дом. адрес: Алматы, 8-микрорайон, д.2, кв. 70, Место работы - ДТОО Астрофизический Институт им. В.Г. Фесенкова, Телефон: 249-06-53;

Кругов Максим Анатольевич - ДТОО Астрофизический Институт им. В.Г. Фесенкова