

(ДТОО «Астрофизический институт им. Фесенкова», Алматы, Республика Казахстан)

## ИОНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА ТУМАННОСТИ NGC 6857

### Аннотация

*Цель работы:* Исследовать ионизационную структуру туманности NGC 6857: определить размеры и положение зон формирования эмиссионных линий разной степени ионизации.

*Методы исследования:* Проводились спектральные наблюдения объекта при разных положениях входной щели спектрографа. Выполнялась абсолютная калибровка интенсивностей эмиссионных линий в выбранных сечениях для получения общей картины распределения разных зон ионизации.

*Результаты работы:* Получены данные о распределении плотности потоков излучения разных эмиссионных линий в туманности.

*Область применения:* Полученные данные могут быть использованы для расчетов модели, объясняющей наблюдаемую структуру исследуемого объекта.

*Выводы:* Наличие сложной структуры внутренних областей туманности подтверждается. Центральная зона, в которой наблюдается дефицит всех элементов, могла сформироваться под воздействием звездного ветра горячей центральной звезды.

**Ключевые слова:** межзвездная среда; HII области; индивидуальные объекты – NGC 6857.

**Тірек сөздер:** жұлдызаралық орта; HII аймағы; NGC 6857 – жекешеленген объекті.

**Keywords:** interstellar matter; HII regions; individual objects: NGC 6857.

**1. Введение.** NGC 6857 = Min1-98 – это эмиссионная туманность с размерами 10'x10', первоначально она относилась к классу планетарных туманностей. Наблюдения [1-4] показали присутствие молекул OH и H<sub>2</sub>CO в направлении на объект и оптический спектр низкого возбуждения. Было установлено, что NGC 6857 является компактным HII-районом, расположенным в протяженном облаке ионизованного водорода Sh2-101, которое в свою очередь составляет часть гигантского газопылевого комплекса W58. В нем обнаружено большое количество точечных источников инфракрасного излучения, компактных и ультракомпактных HII областей и зон современного звездообразования.

Расстояние до объекта NGC 6857  $D=8.6$  крс совпадает со значениями, полученными для ярких O и B звезд комплекса, что подтверждает их генетическую связь [5].

Как правило, области звездообразования вызывают повышенный интерес исследователей. Именно по этой причине активные наблюдения всего газопылевого комплекса и входящей в него туманности NGC 6857 проводились неоднократно в радио и инфракрасном диапазонах [5-10]. В оптическом диапазоне длин волн этот объект оказался малоизученным. Мы нашли данные о средних для туманности значениях интенсивностей эмиссионных линий в Каталоге Калера [11] со ссылками на работы [12, 13], а также оценки поверхностной яркости туманности  $S(H\beta) = 4.3 \pm 0.3 \times 10^{-13} \text{ ergs cm}^{-2} \text{ s}^{-1} (\text{arcsec})^{-2}$ , исправленные за поглощение [12]. Коэффициенты межзвездного поглощения:  $A_V=2^m$ ,  $4^m$  и  $4^m.2$  получены в работах [9, 12, 5] соответственно. Сложная структура туманности наглядно представлена на рисунке 1. В лучах линий  $H\alpha + NII$  плотная центральная зона по внешнему виду напоминает биполярную туманность. Она окружена внешним кольцом, имеющим клочковатую структуру. Оно прослеживается также в лучах линий  $[SII]$ , но наиболее заметными деталями второго изображения являются волокно, расположенное на западной границе туманности и темный «провал» на юго-западе от центральной звезды.

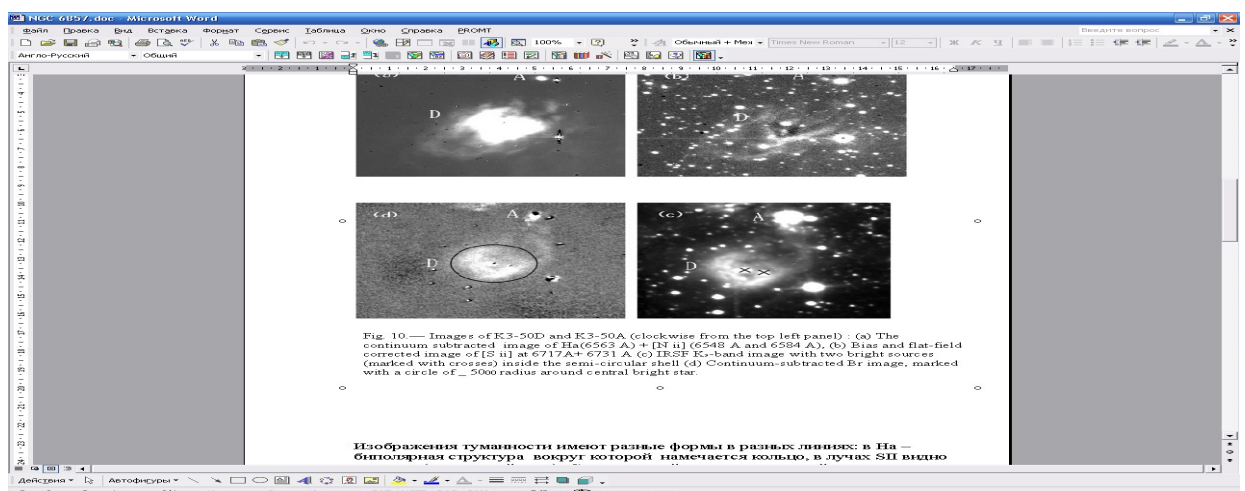


Рисунок 1 – Изображения туманности NGC 6857:

(левая панель) – в лучах  $H\alpha+NII$  и (правая панель) – в лучах  $[SII]$  из [5]

Мы провели спектральные исследования в разных сечениях туманности NGC 6857 для того, чтобы определить размеры и расположение зон ионизации разных элементов.

**2. Наблюдения и обработка результатов.** Спектральные наблюдения выполнялись на двух телескопах. На телескопе АЗТ-8 использовался дифракционный спектрограф, установленный в фокусе кассегрена и предназначенный для исследования слабых эмиссионных объектов. Приемником излучения служит CCD камера ST-8 (1530x1020, 9μ). Спектрограммы с дисперсией  $0.75 \text{ \AA}/\text{пиксель}$  охватывают  $\sim 1200 \text{ \AA}$  в диапазонах длин волн  $\lambda\lambda 4000 - 5200 \text{ \AA}$  и  $\lambda\lambda 6100 - 7300 \text{ \AA}$ . Часть наблюдений была выполнена на 1-метровом телескопе фирмы Карл-Цейсс Йена со спектрографом UAGS. Спектрограммы с дисперсией  $0.5 \text{ \AA}/\text{пиксель}$  покрывают два диапазона:  $\lambda\lambda 4400 -$

5200Å и  $\lambda\lambda$  6100 – 6900Å. В проекции на небо рабочая ширина щели соответствует 4".5 – 5".0. Для абсолютной калибровки потоков излучения использовались спектрограммы стандартных звезд, полученные с широкой щелью (10"). Стандарты выбирались с таким расчетом, чтобы в момент наблюдений они располагались на тех же зенитных расстояниях, что и объект исследования. Первичная обработка спектрограмм состояла из стандартных процедур: учета «тем-нового шума», ошибки поля, атмосферной экстинкции. Спектры стандартной звезды использовались также для учета спектральной чувствительности используемой аппаратуры. Спектрограммы туманности NGC 6857 получены в нескольких выбранных сечениях (положениях входной щели спектрографа), они представлены на рисунке 2.

Процедура последующей обработки состояла из нескольких этапов.

1. Измерение спектрограмм туманности, полученных с входной щелью 4".5 – 5".0, определение средних интенсивностей эмиссионных линий и их распределения вдоль данного сечения.

2. Вычисление плотности потоков излучения эмиссионных линий вдоль выбранных сечений (в относительных единицах).

3. Обработка спектрограмм стандартной звезды, полученных с широкой щелью. Наблюдаемое распределение энергии излучения звезды в непрерывном спектре в зависимости от длины волны.

4. Калибровка значений плотности потоков излучения эмиссионных линий вдоль выбранных сечений – переход к энергетической шкале ( $\text{эргсм}^{-2}\text{сек}^{-1}$  ( $\text{угл. сек}^{-2}$ )).

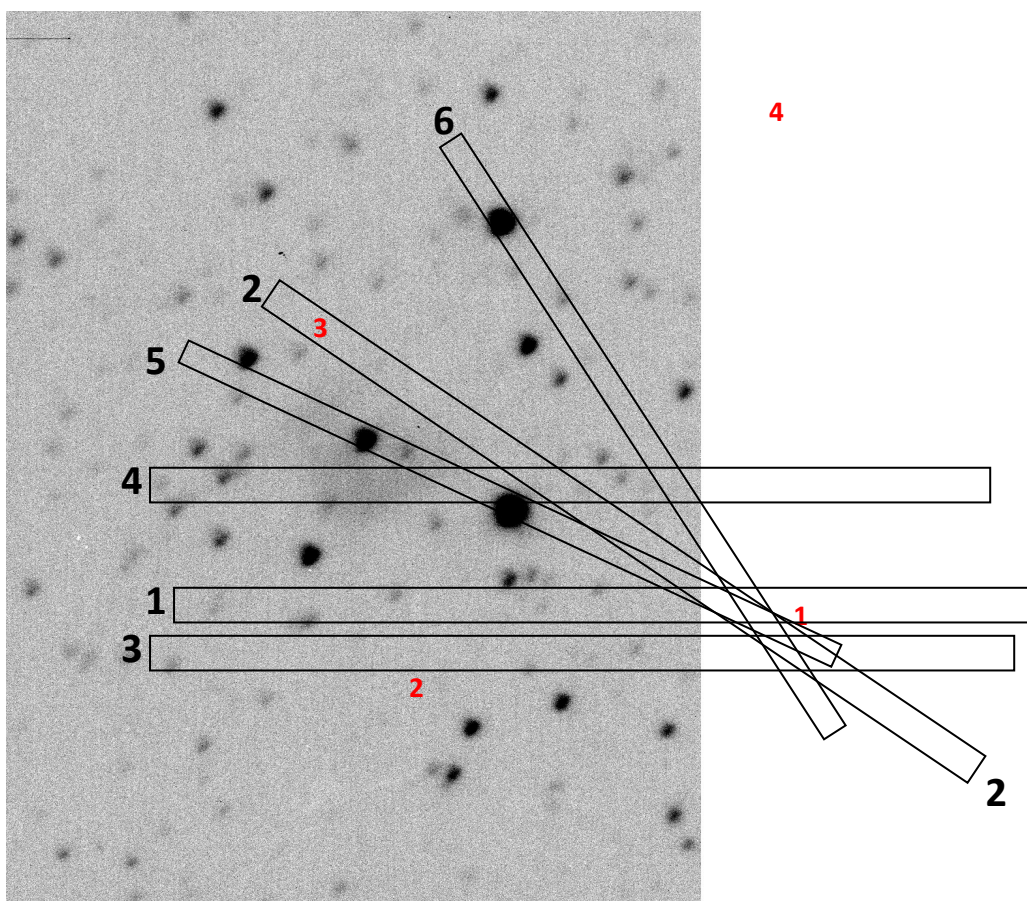


Рисунок 2 – Карта туманности NGC 6857 и положения сечений.

Слева указаны их номера. Кроме того, на карте даны номера опорных звезд

Полученные результаты приведены на рисунках (3-10). Каждый из них содержит графики рас-пределения потоков излучения на квадратную секунду дуги в эмиссионных линиях вдоль сечения. Данные приведены для эмиссионных линий  $H\alpha$ ,  $H\beta$ , [NII], 6583Å, [OIII], 4959, 5007Å, [SII], 6717, 6731Å, HeI, 6678Å, [OI], 6300Å. На каждом графике указан номер сечения и обозначены соот-ветствующие эмиссионные линии.

На основе полученных данных определены характеристики зон излучения эмиссионных линий разной степени ионизации и получены следующие результаты.

- Область ионизованного водорода имеет внешние размеры  $\sim 90'' \times 80''$  (Сечения 2, 3, 4 и 6), южная часть превосходит северную по поверхностной яркости  $\sim$  в 1.5 раза. Вокруг центральной звезды существует своеобразный «провал» – зона пониженной поверхностной яркости с размерами  $\sim 7'' \times 10''$ , причем центр этой внутренней зоны несколько смещен к юго-западу относительно центральной звезды (Сечения 4 и 5). Область максимальной поверхностной яркости ( $S \sim 4.5 \cdot 10^{-14}$  эрг см<sup>-2</sup> сек<sup>-1</sup> (сек дуги)<sup>-2</sup>) имеет внутренний диаметр  $\sim 25''$  и также смещена к юго-западу относительно центральной звезды.

- Зона формирования эмиссии HeI имеет размеры  $\sim 40'' \times 50''$  с центральной областью низкой поверхностной яркости диаметром  $\sim 10''$  (Сечения 4 и 5). Максимальное значение плотности потока в линии HeI, 6678Å составляет  $\sim 8.5 \cdot 10^{-16}$  эрг см<sup>-2</sup> сек<sup>-1</sup> (сек дуги)<sup>-2</sup>.

- Зона [OIII] имеет размеры  $\sim 70'' \times 80''$ , области максимальной интенсивности ( $\sim 2 \cdot 10^{-14}$  эрг  $\text{см}^{-2}\text{сек}^{-1}(\text{сек дуги})^{-2}$ ) образуют эллипс ( $40'' \times 15''$ ), с большой осью в направлении северо-восток – юго-запад.

- Зона излучения линий [SII], 6717, 6731 Å простирается на расстояния  $\sim 40''$ -  $50''$  от центра, совпадая по размерам и положению с областью ионизованного водорода. Максимальная интенсивность наблюдается в Сечении 1, проходящем через волокно (рисунок 2). Соответствующая плотность потока составляет  $1.3 \cdot 10^{-14}$  эрг  $\text{см}^{-2}\text{сек}^{-1}(\text{сек дуги})^{-2}$ .

Итак, результаты спектральных исследований туманности NGC 6857 показали, что около центральной звезды существует своеобразная полость с пониженным содержанием всех регистрируемых элементов. При расстоянии до объекта  $D = 8.6$  кпс размеры этой области ( $\sim 10'' \times 10''$ ) соответствуют  $\sim 0.4$  пс. Подобная зона с дефицитом газа могла сформироваться под действием звездного ветра горячей центральной звезды. При скоростях звездного ветра  $500$ – $1000$  км  $\text{сек}^{-1}$  на это потребовалось  $\sim 700$ – $350$  лет. Наблюдаемое смещение зоны относительно центральной звезды, возможно, связано с неоднородным распределением газа в окрестностях звезды. Электронная плотность газа составляет: в центре  $< 100$   $\text{см}^{-3}$ , на расстоянии  $10''$ – $20''$  от центральной звезды до  $200$   $\text{см}^{-3}$ . Максимальное значение электронной плотности  $\sim 600$   $\text{см}^{-3}$  измерено в волокне (Сечение 3). Оценки поглощения дают следующие результаты:  $A_v = 3^m.5$  -  $4^m$  вблизи центральной звезды и увеличивается к границам туманности до  $A_v = 5^m.5$  -  $6^m$ .

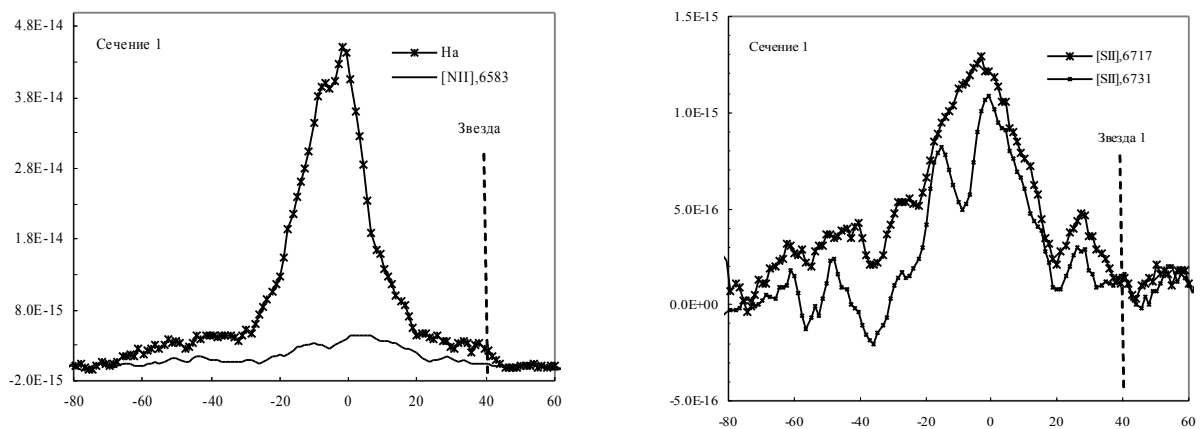


Рисунок 3 – Сечения 1 и 2. Ось X соответствует шкале расстояний вдоль туманности в угловых секундах, нуль пункт совпадает с положением центральной звезды.

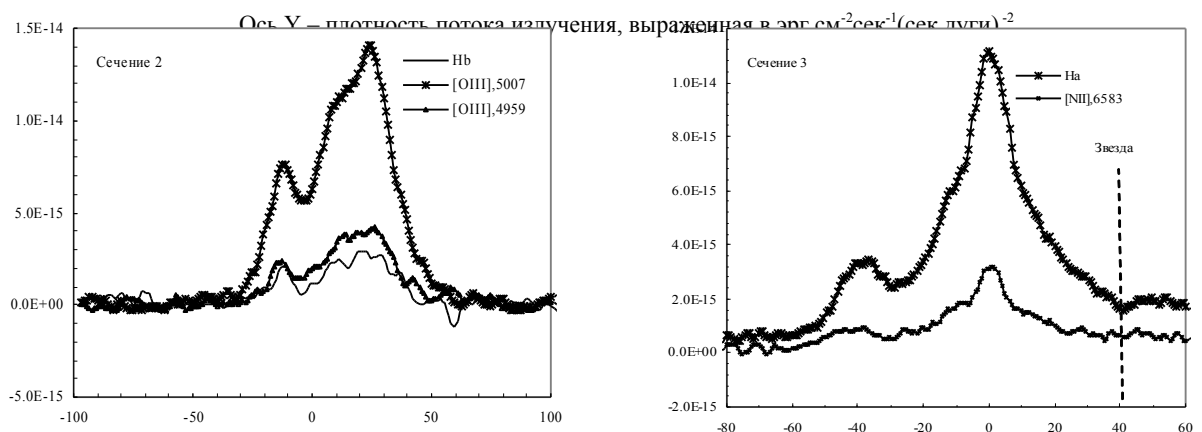


Рисунок 4 – Сечения 2 и 3. Ось X соответствует шкале расстояний вдоль туманности в угловых секундах.

Ось Y – плотность потока излучения, выраженная в эрг  $\text{см}^{-2}\text{сек}^{-1}(\text{сек дуги})^{-2}$

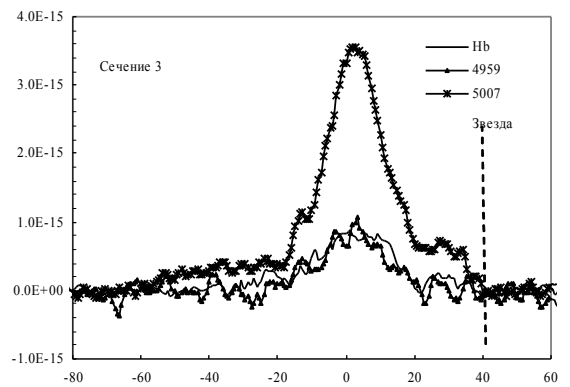
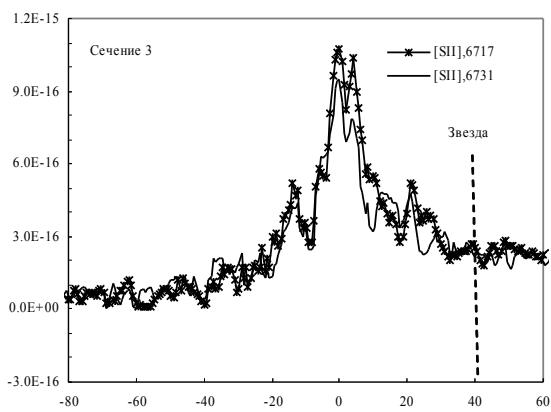


Рисунок 5 – Сечения 3. Ось X соответствует шкале расстояний вдоль туманности в угловых секундах. Ось Y – плотность потока излучения, выраженная в  $\text{эрг см}^{-2}\text{сек}^{-1} (\text{сек.дуги})^{-2}$

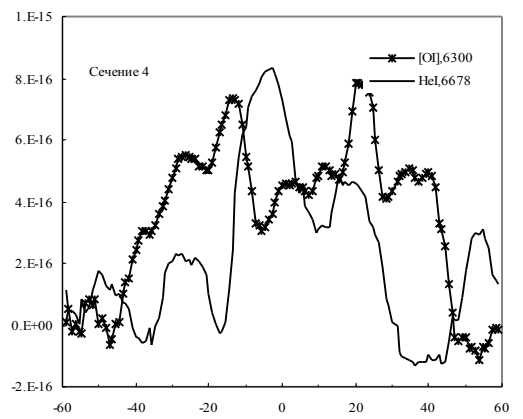
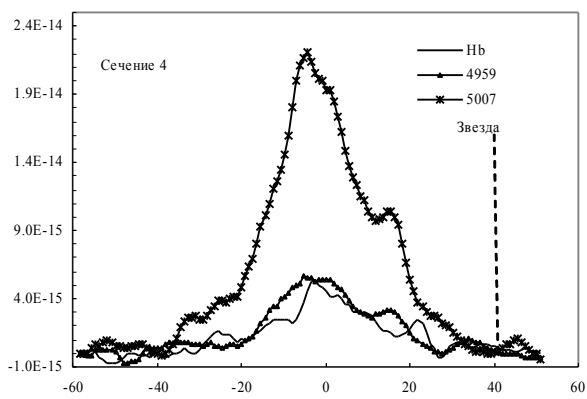


Рисунок 6 – То же, что на рисунках 3 – 5, но для Сечения 4

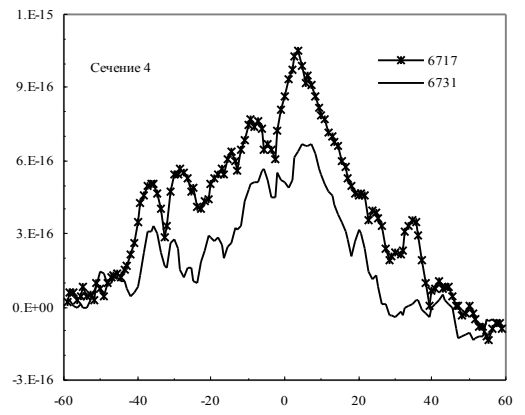
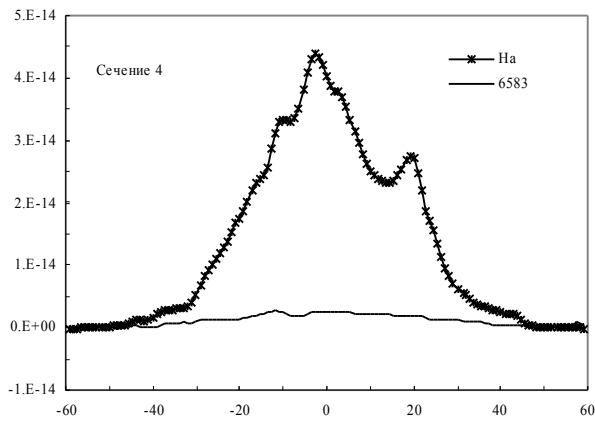


Рисунок 7 – То же, что на рисунках 3 – 5, но для Сечения 4

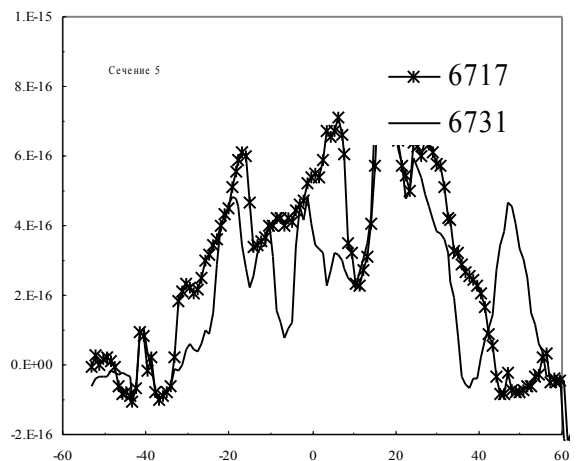
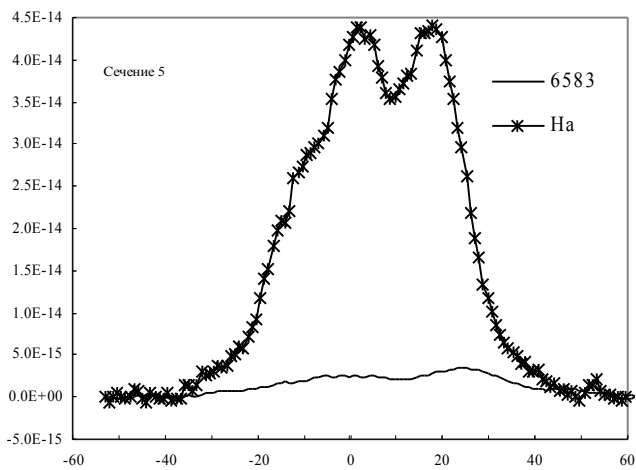


Рисунок 8. То же, что на рисунках 3 – 5, но для Сечения 5.



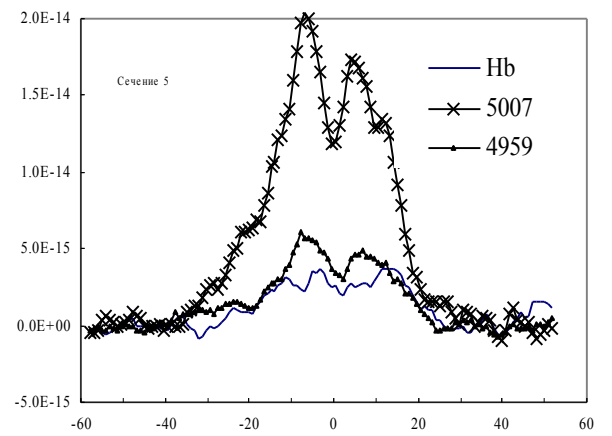
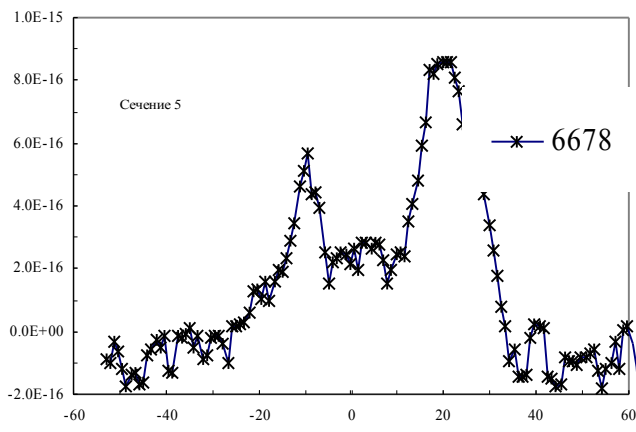


Рисунок 9 – То же, что на рисунках 3 – 5, но для Сечения 5

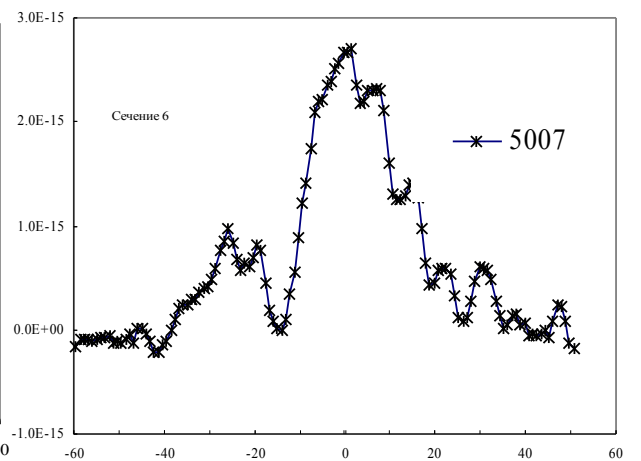
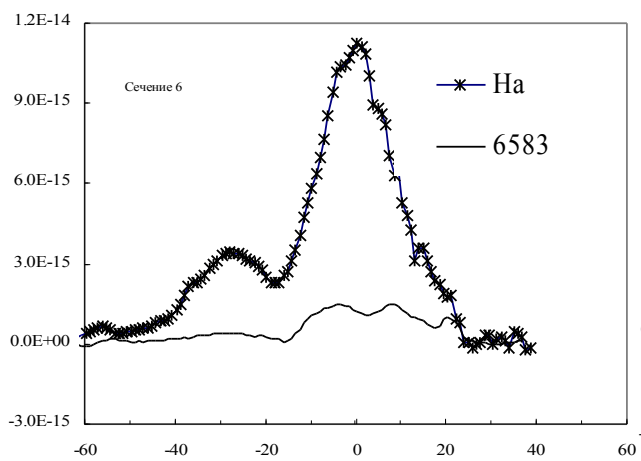


Рисунок 10 – То же, что на рисунках 3 – 5, для Сечения 6

*Работа выполнена по проекту «Исследование физических процессов в областях звездообразования и око-лоядерных зонах активных галактик».*

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1 Rubin R.H., & Turner B.E. Radio Observations of the Nebulae K3-50 and NGC 6857 // ApJ. – 1969. – Vol. 157. – L41.

2 Rubin Turner Observations of Compact H II Regions with Optical Counterparts // ApJ. – 1971. – Vol. 165. – P. 471.

3 Zuckerman B., Buhl D., Palmer P., Snyder L.E. Observations of Interstellar Formaldehyde // ApJ. – 1970. – Vol. 160. – P. 485.

4 Chaisson E.J., Goad L.E. Low-Energy X-Rays Ruled Out as Interstellar Ionizing Mechanism Toward K3-50 // ApJ. – 1972. – Vol. 171. – L61.

5 Samal M., Pandey A., Ojha D., et al. A multiwavelength study of star formation in the vicinity of galactic H II region Sh 2-100 // Ap J. – 2010. – Vol. 714. –P. 1015.

6 Peeters E., Tielens A. et al. The prominent dust emission feature near 8.9  $\mu\text{m}$  in four H II regions // *Ap J.* – 2005. – Vol. 620. – P. 774-785.

7 Okamoto Y., Kataza H., Yamashita T. et al. K3-50A: an ultracompact H II region ionized by a massive stellar cluster // *ApJ.* – 2003. – Vol. 584. –P. 368.

8 Howard E., Pipher J., Forrest W. et al. A near-infrared study of the K3-50 region of high-mass star formation // *ApJ.* – 1996. – Vol. 460. – P. 744.

9 Roelfsema P.R., Goss W.M., Geballe T.R. Infrared and radio recombination line observations of K3-50 // *A&A.* – 1988. – Vol. 207. – P. 132.

10 Balser D., Goss W., De Pree E C. VLA High –sensitivity 4He imaging of galactic H II regions // *AJ.* – 2001. – Vol. 121. – P. 371.

11 Kaler J. A catalog of relative emission line intensities observed in planetary and diffuse nebulae // *ApJSS.* – 1976. – Vol. 31.

12 Persson S.E., Frogel J.A. Spectrophotometric observations of the compact HII regions K3-50 and of NGC 6857 // *ApJ.* – 1974. – Vol. 188. – P. 523.

13 Воронцов-Вельяминов Б.А., Костякова Е.Б., Докучаева О. // *АЖ.* – 1965. – Т. 42. – С. 730.

## REFERENCES

1 Rubin, R. H., & Turner, B. E. *ApJ*, **1969**, 157, L41.

2 Rubin Turner *ApJ*, **1971**, 165, 471.

3 Zuckerman, B., Buhl, D., Palmer, P., & Snyder, L. E. *ApJ*, **1970**, 160, 485.

4 Chaisson, E. J., & Goad, L. E. *ApJ*, **1972**, 171, L61.

5 Samal M., Pandey A. and Ojha D., et al. *Ap J*, **2010**, 714, 1015.

6 Peeters E., Tielens A. et al. *Ap J*, **2005**, 620, 774-785.

7 Okamoto Y., Kataza H., Yamashita T. et al. *ApJ*, **2003**, 584, .368.

8 Howard E., Pipher J., Forrest W. et al. *ApJ*, **1996**, 460, 744.

9 Roelfsema P. R., Goss, W. M., & Geballe, T. R *A&A*, **1988**, 207, 132.

10 Balser D., Goss W., De Pree E C. *AJ*, . **2001**, 121, 371.

11 Kaler J. *ApJSS*, **1976**, 31.

12 Persson S. E., & Frogel, J. A. *ApJ*, **1974**, 188, 523.

13 Vorontsov-Velyaminov B., Koctyakova E., Dokuchaeva O. *AZh*, 1965, 42, 730 (in Russian).

## Резюме

*А. В. Курчаков, А. В. Андреев, Л. Н. Кондратьева, Ф. К. Рыспаев*

(«Фесенков атындағы Астрофизика институты» ЕЖШС, Алматы, Қазақстан Республикасы)

### NGC 6857 ТҰМАНДЫҒЫНЫҢ ИОНДАЛҒАН ҚҰРЫЛЫМЫ

*Жұмыстың мақсаты:* NGC 6857 тұмандықтың иондалған құрылымын зерттеу: әртүрлі дәрежедегі иондалған эмиссиялық сызықтардың жасалу аумағының орнын және өлшемін анықтау.

*Зерттеудің әдістері:* спектрографтың кіретін саңылауының әртүрлі орындары бойынша объектінің спектрлік бақылаулары жүргізілді. Иондалатын аумақтың әртүрлі таралуының жалпы суретін алу үшін таңдап алынған қиылыстардың эмиссиялық сызықтарының қарқындылығының абсолютті калибровкасы орындалды.

*Жұмыстың нәтижелері:* тұмандықтардың әртүрлі эмиссиялық сызықтарының сәулелену ағынының тығыздығының таралуы туралы мәліметтер алынды.

*Қолдану аймағы:* Алынған мәліметтерді зерттелетін объектінің бақыланатын құрылымын түсіндіретін моделі есептеу үшін қолдануға болады. Зерттелетін объектінің бақыланатын құрылымы түсіндірілетін, моделін есептеу үшін, алынған мәліметтерді қолдануға болады.

*Тұжырым:* Тұмандықтың ішкі аймақтарының құрылымы күрделі болатындығын дәлелдейді. Орталық аумақ, аз кездесетін бақыланатын барлық элементтер, орталық ыстық жұлдыздың, жұлдызды желдің әсерінен пайда болуы мүмкін.

**Тірек сөздер:** жұлдызаралық орта; III аймағы; NGC 6857 – жекешеленген объектілері.

## Summary

*A. V. Kurchakov, A. V. Andreev, L. N. Kondratyeva, F. K. Rspaev*

(D TOO «Fesenkov Astrophysical Institute», Almaty, Republic of Kazakhstan)

## IONIZATION STRUCTURE OF THE NEBULA NGC 6857

*Aim:* Study of ionization structure of the nebula: determination of the sizes and position of zones, in which the emission lines of the different ionization degrees are formed.

*Methods:* Spectral observations with the different slit position were carried out. An absolute calibration of the emission-line fluxes in the chosen cross sections was done in order to obtain the whole representation about distribution of the ranges of different ionization degrees

*Results:* The density fluxes distribution within the nebula for the different emission lines are obtained .

*Applications:* Obtained data may be used for the modeling of the observable structure of the object..

*Conclusions:* The complex structure of the inner regions of the nebula was confirmed. The central hole with a deficit of any gas may be formed under the stellar wind of the central star.

**Keywords:** interstellar matter; HII regions; individual objects: NGC 6857.

*Поступила 2.09.2013г.*