

ПЕРЕМЕННОСТЬ ОТ НОЧИ К НОЧИ ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ В СПЕКТРЕ ЯДРА СЕЙФЕРТОВСКОЙ ГАЛАКТИКИ NGC 3227

Л.П.МЕТИК, И.И.ПРОНИК, Л.М.ШАРИПОВА

Поступила 7 июля 2006

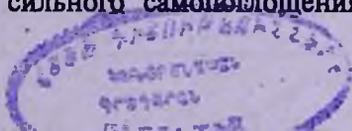
Принята к печати 20 сентября 2006

Представлены результаты по исследованию эмиссионных линий в оптической области спектра ядра сейфертовской галактики NGC 3227. Работа выполнена на основе 53 спектрограмм, полученных на 6-м телескопе в максимуме яркости ядра галактики 12-15 января 1977г. Приведены банк профилей водородных линий $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$ и эквивалентные ширины (EW_λ) шести эмиссионных линий и бленд, осредненных по сериям наблюдений. Показано, что в течение трех дней профили водородных линий расширялись. На уровне 0.50 яркости пика профиля расширение для линий составляло 12%, 35% и 44%, соответственно. Расширение профиля линии $H\beta$ сопровождалось уменьшением ее эквивалентной ширины (EW_β). Сделано предположение, что в ядре галактики наблюдалась вспышка на масштабе времени 3 дня, которая может быть обусловлена ударной волной в долгоживущих потоках из ядра галактики.

1. *Введение.* В работе Проник и Метик [1] приведен обзор результатов исследования переменности излучения ядра сейфертовской галактики NGC 3227, меняющей свой сейфертовский тип со временем. Спектральные и фотометрические мониторинги ядра NGC 3227 свидетельствуют о значительных изменениях излучения интенсивности непрерывного спектра и эмиссионных линий со временем. Согласно работе Квизберта и др. [2], ядро галактики в диафрагме 16" в фотометрической системе U в интервале времени с 1967 по 1979г. менялось с амплитудой $1^m.0$. В 1977г. Лютый [3] показал, что в диафрагме 13".5 переменность излучения ядра этой галактики в фильтре U на интервале 2 дня составила $0^m.5$. Согласно данным Розенблатта и др. [4], полученным при размере щели спектрографа 4" x 20", на масштабе времени 120 дней поток эмиссионной линии $H\beta$ менялся на фактор 2, а поток континуума - на фактор 3.

В работе Проник и Метик [1] на основе части спектрального материала, полученного 12-15 января 1977г. на 6-м телескопе, были сделаны следующие выводы:

1. Профили водородных линий $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$ различные, что указывает на наличие сильного самопоглощения газа, который их излучает.



2. Профили этих линий содержат узкие компоненты, сохраняющие свое положение в течение 25 лет. Сделано предположение, что эти компоненты могут отражать долгоживущие потоки или струйные выбросы.

3. Зарегистрировано изменение интенсивности узких компонент эмиссионных линий относительно центрального пика и широких крыльев профилей линий $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$ в течение трех дней.

4. Обнаружен обратный бальмеровский декремент переменных профилей эмиссионных линий.

5. Данные об изменениях в профилях $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$ позволили предположить, что в области свечения этих линий была вспышка на масштабе времени 3 дня. Характеристики вспышки были получены в основном по данным экстремальных значений профилей и эквивалентных ширин EW_λ эмиссионных линий.

Цель настоящей работы состоит в исследовании поведения эмиссионных линий галактики NGC 3227 с привлечением всего массива данных, полученного за 4 ночи наблюдений 12-15 января 1977г.

2. *Наблюдения и обработка.* Спектральные наблюдения галактики NGC 3227 были проведены В.Л.Афанасьевым на 6-м телескопе Специальной астрофизической обсерватории 12-15 января 1977г. во время фазы максимума яркости ядра галактики. Использовался спектрограф UAGS с ЭОП UM-92. Ширина щели спектрографа составляла $1''.0$, качество изображения было $1''.0-2''.0$. Регистрация спектров осуществлялась на фотопленку А-600. Контроль спектральной чувствительности аппаратуры проводился по наблюдениям звезды-стандарта i Per. Ошибки

Таблица 1

ЧИСЛО ИСПОЛЬЗОВАННЫХ НЕГАТИВОВ ДЛЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ EW_λ

| День наблюдений | Дата наблюд. январь 1977г. | Область спектра | Число негативов для определения EW_λ |
|-----------------|----------------------------|-----------------|--|
| 1 | 12/13 | $H\gamma$ | 5 |
| | | $H\beta$ | 2 |
| | | $H\alpha$ | 4 |
| 2 | 13/14 | $H\gamma$ | 8 |
| | | $H\beta$ | 3 |
| | | $H\alpha$ | 5 |
| 3 | 14/15 | $H\gamma$ | 9 |
| | | $H\beta$ | 6 |
| | | $H\alpha$ | 6 |
| 4 | 15/16 | $H\gamma$ | 8 |
| | | $H\beta$ | 3 |
| | | $H\alpha$ | 6 |

эквивалентных ширин эмиссионных линий определялись по спектрам планетарной туманности IC 351. В каждую ночь получались 2-3 серии наблюдений. Одна серия наблюдений проводилась за время меньше одного часа и содержала до 7-и спектрограмм. Всего за 4 ночи были получены 53 спектрограммы.

Обработка полученных негативов проводилась на микрофотометре МФ-4. Ширина щели и шаг при измерении негативов соответствовали 4 Å, высота спектра при фотометрировании негатива на микрофотометре была 1".5.

Были получены профили и EW_λ эмиссионных линий и blends: $H\delta + [SII] 4068 + 4076\text{Å}$, $H\gamma + [OIII] 4363\text{Å}$, $H\beta$, $[OIII] 4959 + 5007\text{Å}$, $H\alpha + [NII] 6548 + 6584\text{Å}$, $[SII] 6717 + 6731\text{Å}$. Табл.1 содержит сведения, взятые из журнала обработки. В ее колонках приведены, соответственно: порядковый день наблюдений, дата наблюдений, область спектра и число негативов, взятых для определения EW_λ эмиссионных линий и blends ядра галактики NGC 3227.

3. Результаты исследования переменности эмиссионных линий ядра галактики NGC 3227 с 12 по 15 января 1977г.

3.1. Банк данных профилей водородных линий $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$ за 12-15 января 1977г., осредненных по сериям наблюдений, приведен на рис.1. По оси абсцисс отложены длины волн в ангстремах, по оси ординат - интенсивности в долях интенсивности пика профиля. Нуль-пункт длин волн соответствует пику профиля эмиссионной линии. На рис.1 столбиками представлены величины среднеквадратических

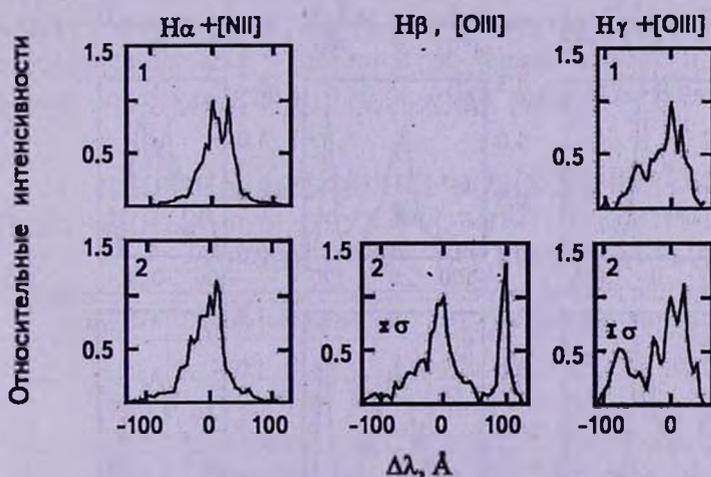


Рис.1а. Банк профилей водородных линий $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$ для ядра сейфертовской галактики NGC 3227, полученных в 1977г.: а - 12 января, б - 13 января, в - 14 января, г - 15 января. Цифры внутри рамок - номера серий наблюдений.

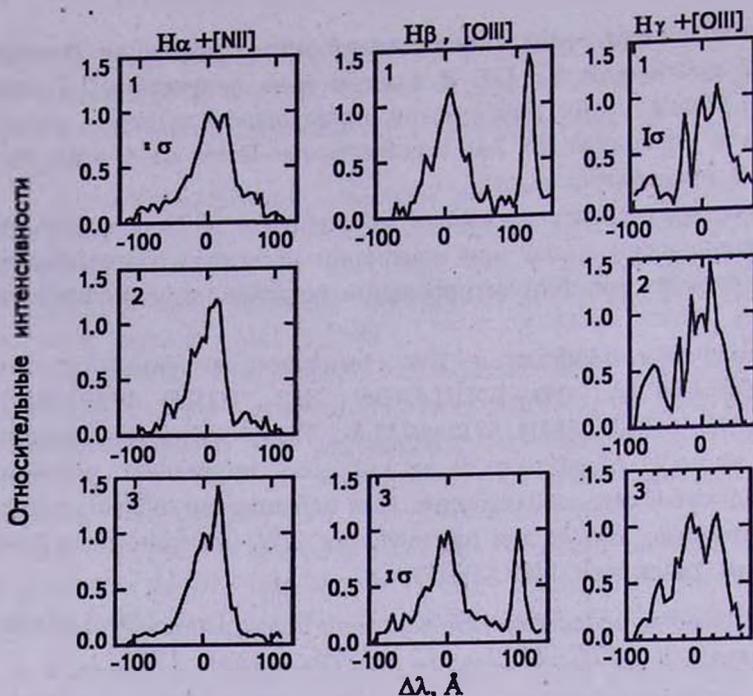


Рис.1b. Продолжение.

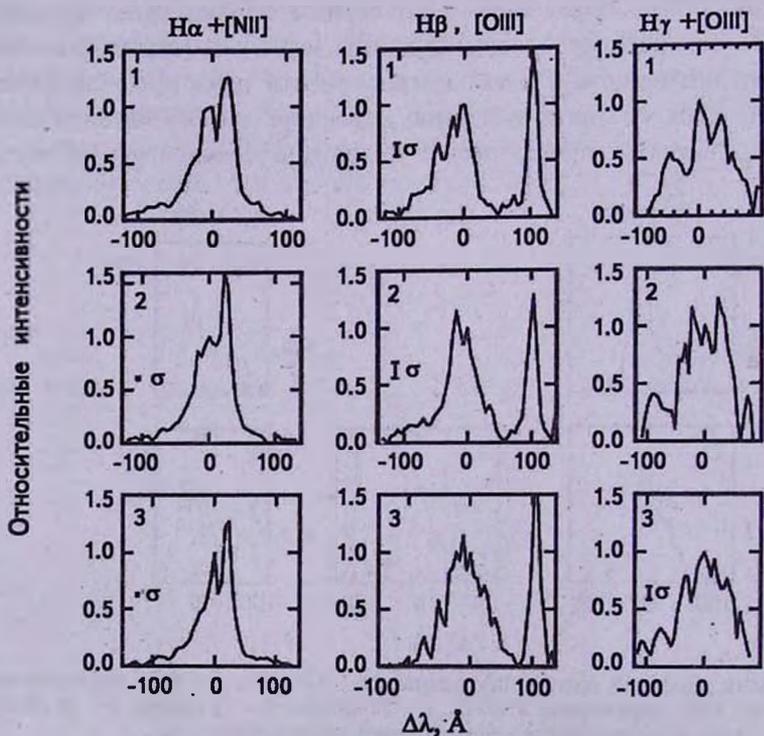


Рис.1с. Продолжение.

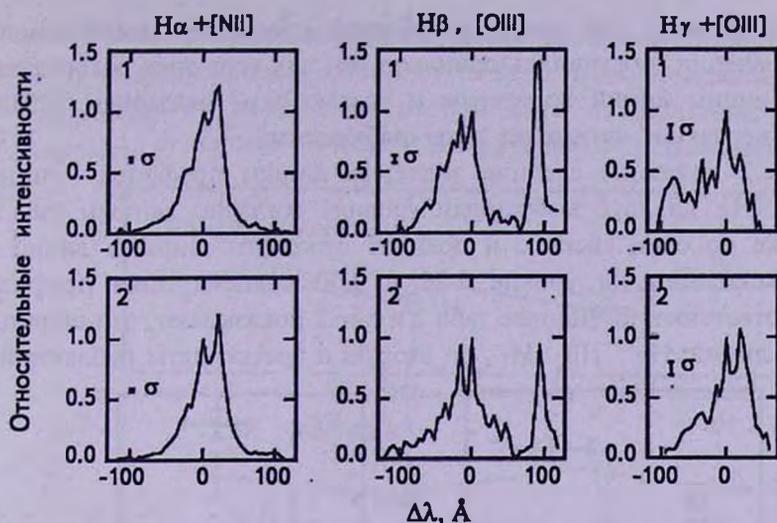


Рис.1d. Продолжение.

ошибок в определении профилей водородных линий $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$.

3.2. *Профили эмиссионных линий.* Для водородных линий $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$ по всему массиву данных, полученных за четыре ночи наблюдений, были определены ширины профилей на 0.25 и 0.50 уровнях яркости пика профиля каждой линии. Результаты определения ширин профилей эмиссионных линий показали их группировку по датам, в которые они имеют близкие значения. Эта группировка ширин профилей исследуемых линий приведена в табл.2. В первой и второй колонках таблицы представлены, соответственно, эмиссионные линии и порядковые дни наблюдений группировки. В третьей и четвертой колонках - ширины профилей линий и их ошибки на уровнях яркости: 0.25 и 0.50 яркости пика. Из таблицы видно, что

Таблица 2

ШИРИНЫ ПРОФИЛЕЙ ВОДОРОДНЫХ ЛИНИЙ,
ПОЛУЧЕННЫХ ДЛЯ ДВУХ УРОВНЕЙ ЯРКОСТИ ПРОФИЛЯ И
УСРЕДНЕННЫХ ПО ГРУППАМ ДАТ

| Линия | День наблюдения | Ширина линии, км/с | |
|-----------|-----------------|---------------------------|---------------------------|
| | | 0.25 $I_{max} \pm \sigma$ | 0.50 $I_{max} \pm \sigma$ |
| $H\alpha$ | 1, 4 | 3607 ± 41 | 2430 ± 96 |
| | 2, 3 | 4291 ± 181 | 2710 ± 61 |
| $H\beta$ | 1, 4 | 5420 ± 192 | 2763 ± 300 |
| | 2, 3 | 6107 ± 293 | 3728 ± 136 |
| $H\gamma$ | 1, 4 | 8557 ± 489 | 4068 ± 206 |
| | 2, 3 | 10404 ± 449 | 5842 ± 373 |

даты группировок, для которых ширины профилей линий имели близкие значения, получились одинаковыми для всех трех водородных линий. Ширины линий во вторую и третью даты оказались больше ширин в первую и четвертую даты наблюдений.

На рис.2 показаны средние значения ширин профилей линий $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$ на двух выбранных уровнях согласно данным табл.2. На рисунке по осям абсцисс и ординат отложены ширины линий в единицах скорости на уровне 0.25 и 0.50 яркости пика профиля линии, соответственно. Данные табл.2 и рис.2 показывают, что ширины профилей линий $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$, во вторую и третью даты наблюдений

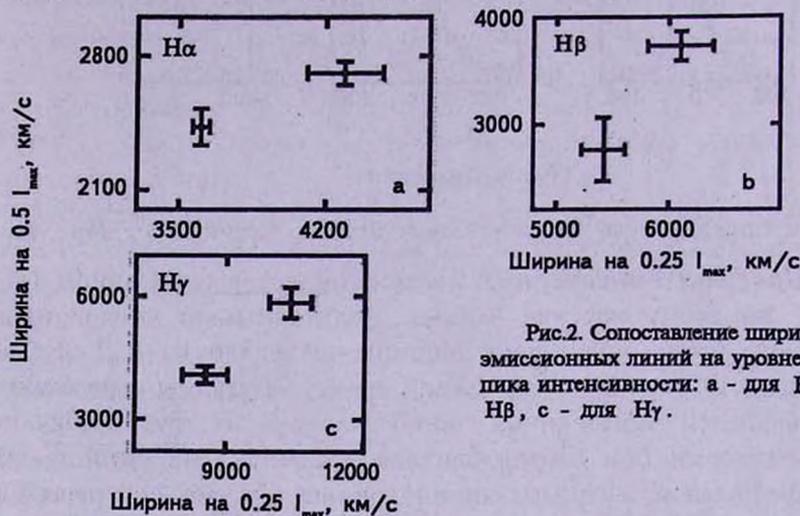


Рис.2. Сопоставление ширин профилей эмиссионных линий на уровне 0.25 и 0.50 пика интенсивности: а - для $H\alpha$, б - для $H\beta$, с - для $H\gamma$.

на 12%, 35%, 44% больше, соответственно, чем в первую и четвертую даты наблюдений. Различие ширины профиля линии $H\gamma$ на уровне 0.50 яркости пика составило больше 3σ . Таким образом, показано, что факт расширения трех водородных линий на двух уровнях яркости, обнаруженный по их экстремальным профилям в работе [1], подтвержден при использовании всего массива наблюдательных данных за четыре ночи.

3.3. Эквивалентные ширины эмиссионных линий. Значения EW_λ шести эмиссионных линий и бленд: $H\delta$ + [SII] 4068 + 4076 Å, $H\gamma$ + [OIII] 4363 Å, $H\beta$, [OIII] 4959 + 5007 Å, $H\alpha$ + [NII] 6548 + 6584 Å, [SII] 6717 + 6731 Å, осредненные по сериям наблюдений, полученных за 4 ночи 12-15 января 1977г., показаны на рис.3. По осям абсцисс и ординат отложены даты наблюдений и EW_λ исследуемых линий и бленд, соответственно. Данные рис.3 показывают, что согласованных изменений EW_λ всех линий и бленд от ночи к ночи не было. Это позволяет предположить отсутствие изменения интенсивности

континуума. Однако обнаруживаются согласованные изменения некоторых эмиссионных линий от ночи к ночи: уменьшение EW_{β} и $EW_{[OIII]4959+5007}$ от первой ко второй date наблюдений; $EW_{[OIII]}$ и $EW_{[SII]6717+6731}$ от первой ко второй и от второй к третьей date менялись

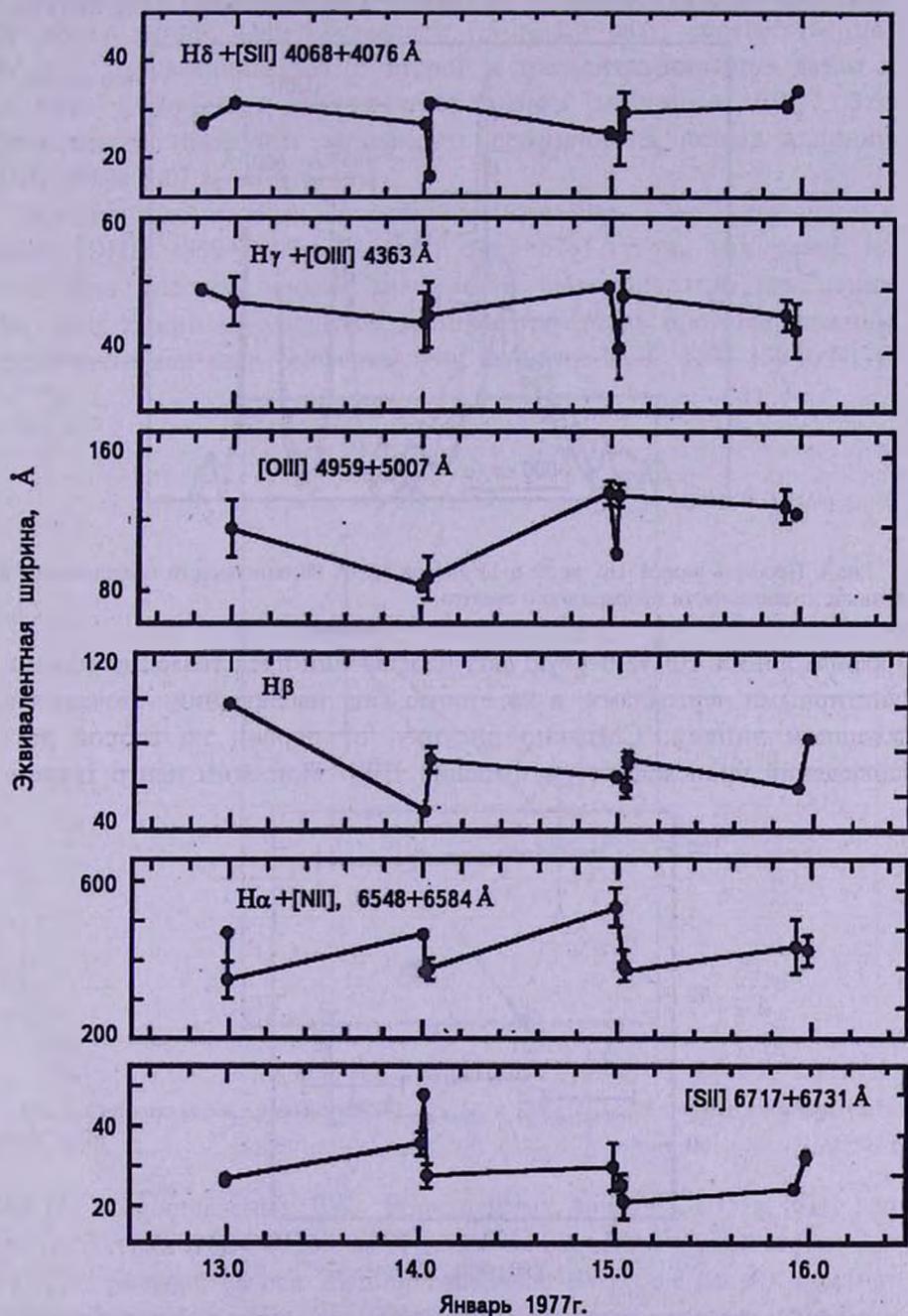


Рис.3. Эквивалентные ширины шести эмиссионных линий, полученные за 12-15 января 1977г.

в противоположном направлении.

На рис.4 показано сопоставление изменения EW и формы профиля линии H β от первой ко второй дате наблюдений. На рисунке по оси абсцисс отложены длины волн, выраженные в км/с, а по оси ординат - значение интенсивности в единицах интенсивности континуума.

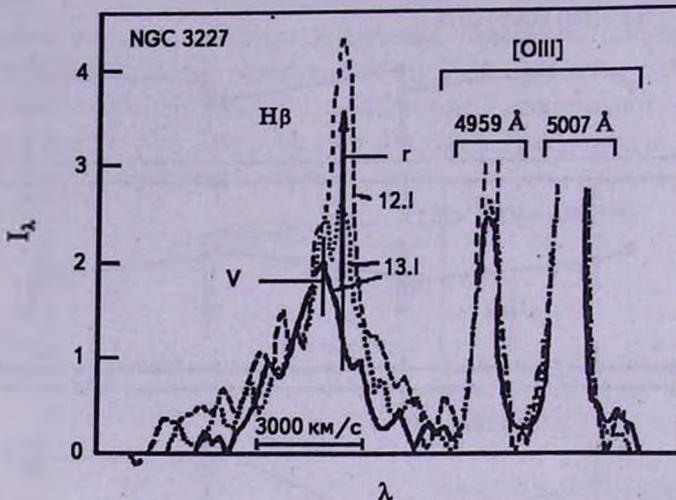


Рис.4. Профиль линии H β за 12 и 13 января 1977г. Интенсивности представлены в единицах интенсивности непрерывного спектра.

Профиль линии H β за первую дату наблюдений представлен длинными пунктирными черточками, а во вторую дату наблюдений - точками и сплошной линией. Согласно рисунку, от первой ко вторую дату наблюдений происходило уменьшение EW β . При этом центр тяжести

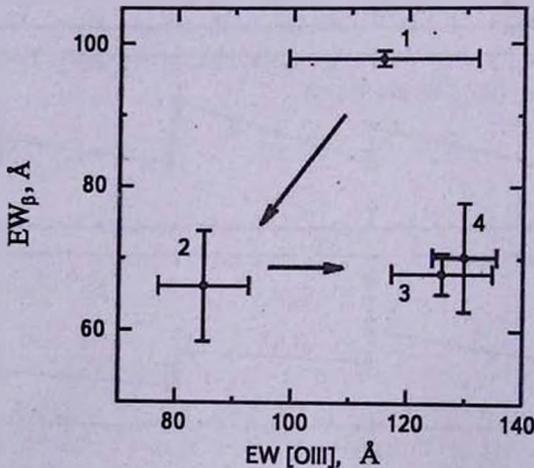


Рис.5. Сопоставление изменения EW β и EW $_{[OIII]4959+5007}$ за четыре даты наблюдений. Стрелки показывают последовательность изменения EW λ .

линии смещался в коротковолновую область спектра.

Разное поведение EW_{β} и $EW_{[OIII]4959+5007}$ показано на рис.5; по оси абсцисс отложена $EW_{[OIII]4959+5007}$, по оси ординат - EW_{β} . Цифрами 1, 2, 3, 4 указаны дни наблюдений. Из рисунка видно, что от первой ко второй дате наблюдений происходит одновременное уменьшение EW обеих линий. Оно составляет 1.5 и 1.4 раза, соответственно. $EW_{[OIII]4959+5007}$ увеличивалась от второй к третьей и четвертой датам в 1.5 раза (3.1σ) при почти постоянном значении EW_{β} . Это обстоятельство позволяет заподозрить переменность потока в линии $[OIII] 4959+5007 \text{ \AA}$ за три дня.

Представляло интерес сопоставить поведение EW_{λ} запрещенных линий $[OIII] 4959+5007 \text{ \AA}$ и $[SII] 6717+6731 \text{ \AA}$, так как ранее на достаточно высоком уровне значимости было показано изменение EW_{λ} этих линий на масштабе времени три дня в противоположном направлении для ядер сейфертовских галактик NGC 1275 [5] и NGC

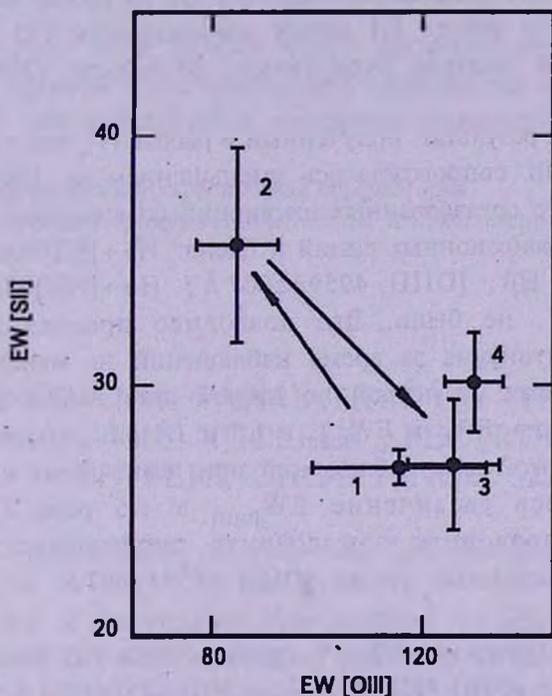


Рис.6. Сопоставление изменения $EW_{[OIII]4959+5007}$ и $EW_{[SII]6717+6731}$ в период вспышки 12-15 января 1977г.

7469 [6]. Сопоставление EW_{λ} запрещенных линий $[OIII]$ и $[SII]$ для ядра галактики NGC 3227 за 4 даты наблюдений представлено на рис.6. На рисунке по оси абсцисс отложены $EW_{[OIII]}$, а по оси ординат - $EW_{[SII]}$. Согласно рисунку, изменения EW_{λ} запрещенных линий от

первой ко второй и от второй к третьей датам в спектре ядра этой галактики происходили тоже в противоположных направлениях. Но значимость этих изменений была на уровне 2.8σ и меньше.

4. *Выводы.* 1) Представлен банк профилей эмиссионных линий, содержащих 8 профилей $H\beta$ и по 10 профилей линий $H\alpha$ и $H\gamma$, полученных за 4 ночи наблюдений 12-15 января 1977г. и осредненных по сериям наблюдений.

2) По всему массиву данных получены изменения в профилях линий $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$, которые позволили подтвердить предположение, выдвинутое в работе [1], что в области свечения эмиссионных линий была вспышка на масштабе времени 3 дня:

а) Выявлено расширение профилей линий $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$ на уровнях яркости 0.25 и 0.50 по отношению к яркости пика линии. На уровне 0.50 яркости пика расширение составило 12%, 35%, 44%, соответственно. Величины расширения профилей линий $H\beta$, $H\gamma$ на уровне 0.50 яркости пика, полученные в работе [1] между минимальным (12 января) и максимальным (14 января) значениями, составили 120% и 55%, соответственно.

б) Подтвержден результат, полученный в работе [1], что расширение профиля линии $H\beta$ сопровождалось уменьшением ее EW_{β} .

в) Показано, что согласованных изменений со временем EW_{λ} всех 6-и наблюдаемых эмиссионных линий и бленд: $H\delta + [SII] 4068 + 4076 \text{ \AA}$, $H\gamma + [OIII] 4363 \text{ \AA}$, $H\beta$, $[OIII] 4959 + 5007 \text{ \AA}$, $H\alpha + [NII] 6548 + 6584 \text{ \AA}$, $[SII] 6717 + 6731 \text{ \AA}$, не было. Это позволило предположить, что интенсивность континуума за время наблюдений не менялась.

г) В то же время от первой ко второй дате наблюдений было отмечено уменьшение EW_{β} и $EW_{[OIII]}$ в 1.5 и 1.4 раза, соответственно. От второй к четвертой дате наблюдений при незначимых изменениях EW_{β} обнаружилось увеличение $EW_{[OIII]}$ в 1.5 раза (3σ). Это обстоятельство позволило заподозрить переменность потока запрещенных эмиссионных линий $[OIII] 4959 + 5007 \text{ \AA}$ на масштабе времени 3 дня.

д) Отмечены изменения EW_{λ} в противоположных направлениях запрещенных линий $[OIII] 4959 + 5007 \text{ \AA}$ и $[SII] 6717 + 6731 \text{ \AA}$ за первые три даты наблюдений на уровне значимости 2.8σ и меньше. Этот результат представляет интерес, поскольку такой характер изменений ранее был получен на достаточно высоком уровне значимости для ядер сейфертовских галактик NGC 1275 [5] и NGC 7469 [6].

3) Все полученные данные в работе [1] и настоящей работе по переменности эмиссионных линий в спектре ядра галактики NGC 3227 во время вспышки 12-15 января 1977г. сопоставлялись с теорети-

ческими моделями водородной плазмы разных температур и плотностей. Сопоставление показало, что эти данные в том числе и данные об обратном бальмеровском декременте переменных водородных линий и уменьшении EW_{β} с расширением профиля не противоречат теоретическим параметрам водородной плазмы, рассчитанным Гершбергом и Шнолем [7], для спектров движущихся сред, в которых ионизация и возбуждение газа обусловлены ударным механизмом. Газ вспышки - горячая, неоднородная по физическим условиям плазма, имеющая электронную температуру $Te = 15000 - 25000$ К и электронную плотность $n_e = 10^{14}$ см⁻³.

Характеристики вспышки в области свечения водородных линий дают основание предположить, что она может быть обусловлена короткоживущими ударными волнами в долгоживущих потоках или струйных выбросах.

Авторы благодарны сотрудникам обсерватории САО РАН за помощь в получении спектрального материала на 6-м телескопе, В.И.Пронику за полезные дискуссии и М.А.Смирновой за помощь при выполнении работы.

Выполнение этой работы было частично возможно благодаря поддержке грантом фундаментальных гражданских исследований UP1-2549-CR-03 для независимых государств бывшего СССР(CRDF).

НИИ Крымская астрофизическая обсерватория,
Украина, e-mail: ipronik@crao.crimea.ua, shali@crao.crimea.ua

NIGHT-TO-NIGHT VARIATION OF THE EMISSION LINES IN THE NUCLEUS SPECTRUM OF THE SEYFERT GALAXY NGC 3227

L.P.METIK, I.I.PRONIK, L.M.SHARIPOVA

The results of the emission lines study in the optical spectrum of the Seyfert galaxy NGC 3227 nucleus are presented. 53 spectra obtained during the maximum of the nucleus brightness on 12-15 January 1977 with the 6-m telescope were the base of the investigation. The hydrogen line profiles of $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$ and equivalent width (EW_{λ}) of the lines and blends averaged by series of observations are given. It was shown that profiles of the hydrogen lines broadened during 3 days. The broadening on the level of 0.5 of the profile peak was 12%, 35% and 44%, respectively. The $H\beta$ line profile broadening was accompanied by the decreasing of its equivalent width

(EW_β). It is supposed that 3 day flare is observed in the galaxy nucleus, which can be caused by shock in longlived flows from the galaxy nucleus.

Key words: *Galaxies: Seyfert - individual: NGC 3227*

ЛИТЕРАТУРА

1. *I.I.Pronik, L.P.Metik, Astron. Astrophys. Transactions, 23, N.6, 509, 2004.*
2. *J.Quisbert, L.Binette, E.Daltabuit, J.Canto, Publ. Astron. Soc. Pacif., 83, 1078, 1989.*
3. *В.М.Лютый, Астрон. ж., 54, 1153, 1977.*
4. *E.I.Rosenblatt, M.A.Malkan, W.L.W.Sargent, A.C.S.Readhead, Astrophys. J. Suppl. Ser., 81, 59, 1992.*
5. *Н.И.Меркулова, И.И.Проник, Изв. Крымск. Астрофиз. обсерв., 71, 160, 1974.*
6. *I.I.Pronik, L.P.Metik, N.I.Merkulova, Astron. Astrophys., 318, 721, 1997.*
7. *Р.Е.Гершберг, Е.Е.Шноль, Изв. Крымск. Астрофиз. обсерв., 50, 122, 1974.*